



Plassen op het land

Een landsdekkende kaart van potentiële risicolocaties voor oppervlakkige afspoeling

H.Th.L. Massop, J. Clement en C. Schilling

Plassen op het land

Een landsdekkende kaart van potentiële risicolocaties voor oppervlakkige afspoeling

H.Th.L. Massop, J. Clement en C. Schuiling

Dit onderzoek is uitgevoerd door Alterra Wageningen UR in opdracht van en gefinancierd door het Ministerie van Infrastructuur en Milieu, namens Planbureau voor de Leefomgeving (PBL) (bestelnummer 4500218654)

Alterra Wageningen UR
Wageningen, juli 2014

Alterra-rapport 2546
ISSN 1566-7197

Massop, H. Th. L., J. Clement en C. Schuiling, 2014. *Plassen op het land; Een landsdekkende kaart van potentiële risicolocaties voor oppervlakkige afspoeling*. Wageningen, Alterra Wageningen UR (University & Research Centre), Alterra-rapport 2546. 86 blz.; 54 fig.; 9 tab.; 38 ref.

Oppervlakkige afstroming over maaiveld draagt bij aan de belasting van het oppervlaktewater met nutriënten en gewasbeschermingsmiddelen. De beschikbaarheid van een hoogtkaart met een hoge resolutie geeft de mogelijkheid potentiële risicolocaties op landbouwpercelen in kaart te brengen. Door combinatie van perceels- en hoogte-informatie zijn zowel de 15% laagste delen van elk landbouwperceel als de maaivelddepressies in beeld gebracht. Voor de beoordeling of op een potentiële risicolocatie ook werkelijk plassen ontstaan zijn bovendien kaarten gemaakt van de geschatte infiltratiecapaciteit en de beschikbare bodemberging.

Het risico op belasting van het oppervlaktewater wordt mede bepaald door de afstand tot nabijgelegen waterlopen, voor elke potentiële natte plek is de kortste afstand tot het oppervlaktewater bepaald. Gebieden met het hoogste risico voor oppervlakkige afspoeling zijn de kleigebieden van Friesland en Groningen, het riviereengebied en de veengebieden, zoals het Utrechts-Hollands en het Friese veengebied. Een beperkt veldonderzoek is uitgevoerd om de kaart te toetsen aan de veldsituatie.

Trefwoorden: runoff, maaivelddepressie, infiltratiecapaciteit, bodemberging, connectiviteit, maaiveldgreppel.

Dit rapport is gratis te downloaden van www.wageningenUR.nl/alterra (ga naar 'Alterra-rapporten'). Alterra Wageningen UR verstrekt geen gedrukte exemplaren van rapporten. Gedrukte exemplaren zijn verkrijgbaar via een externe leverancier. Kijk hiervoor op www.rapportbestellen.nl.

© 2014 Alterra (instituut binnen de rechtspersoon Stichting Dienst Landbouwkundig Onderzoek), Postbus 47, 6700 AA Wageningen, T 0317 48 07 00, E info.alterra@wur.nl, www.wageningenUR.nl/alterra. Alterra is onderdeel van Wageningen UR (University & Research centre).

- Overname, verveelvoudiging of openbaarmaking van deze uitgave is toegestaan mits met duidelijke bronvermelding.
- Overname, verveelvoudiging of openbaarmaking is niet toegestaan voor commerciële doeleinden en/of geldelijk gewin.
- Overname, verveelvoudiging of openbaarmaking is niet toegestaan voor die gedeelten van deze uitgave waarvan duidelijk is dat de auteursrechten liggen bij derden en/of zijn voorbehouden.

Alterra aanvaardt geen aansprakelijkheid voor eventuele schade voortvloeiend uit het gebruik van de resultaten van dit onderzoek of de toepassing van de adviezen.

Inhoud

	Woord vooraf	5
	Samenvatting	7
1	Inleiding	9
	1.1 Voorgeschiedenis en achtergrond	9
	1.2 Probleemstelling	9
	1.3 Doelstelling	9
	1.4 Leeswijzer	10
2	Processen	11
	2.1 Infiltratieproces	11
	2.2 Runoff	15
3	Materiaal	16
	3.1 Maaiveldhoogte	16
	3.2 Percelen	18
	3.2.1 Top10NL-percelen	18
	3.2.2 BRP	19
	3.2.3 AAN-percelen	20
	3.3 Waterlopen	20
	3.4 Bodemkundige gegevens	21
	3.4.1 Bodemberging	21
	3.4.2 Grondwaterstandsdiepte	22
	3.4.3 Infiltratiemetingen	23
	3.4.4 Verticale waterflux	25
	3.4.5 Buisdrainage en reservoircoëfficiënt	25
	3.5 Meteodata	25
4	Methoden	30
	4.1 Inleiding	30
	4.2 Basisbestanden	31
	4.2.1 Voorbewerking hoogtebestand	31
	4.2.2 Percelenbestand	32
	4.2.3 Waterlopenbestand	33
	4.3 Bepaling lage plekken	34
	4.4 Infiltratiecapaciteit	38
	4.5 Beschikbare bodemberging	39
	4.6 Connectiviteit met het oppervlaktewater	40
	4.7 Maaivelddepressies	41

5	Resultaten	44
5.1	Potentiele plassen in enkele voorbeeldgebieden	44
5.1.1	Kleigebied	44
5.1.2	Veengebied	48
5.1.3	Zandgebied	50
5.2	Kans ontstaan van plassen	54
5.2.1	Overschrijding infiltratiecapaciteit	54
5.2.2	Beschikbare bodemberging	54
5.3	Connectiviteit	56
5.4	Kwalitatieve bepaling van het risico voor oppervlakkige afspoeling	56
6	Validatie	61
6.1	Veldwaarnemingen	61
6.1.1	Wageningen	61
6.1.2	Duiven	65
6.2	Luchtfoto's	68
6.2.1	Groningen	68
6.3	NDVI	70
7	Conclusies en aanbevelingen	71
7.1	Conclusies	71
7.2	Discussie	72
7.3	Aanbevelingen	73
	Literatuur	76
	Bijlage 1 Waar vindt mogelijk snelle drainage via macroporiën plaats?	79
	Bijlage 2 Infiltratiecapaciteit en k_{sat}	85

Woord vooraf

Met AHN2 is een landdekkende hoogtekaart met een groot detailniveau beschikbaar gekomen waarmee het mogelijk werd om een lang gekoesterde wens te vervullen: een gedetailleerde analyse van het maaiveld op perceelniveau om potentiële locaties voor plassen op het land in beeld te brengen. Deze wens is vertaald in een projectidee.

De auteurs bedanken Aaldrik Tiktak van PBL, die de mogelijkheden, verwoord in het projectidee ondersteunde en zich via het PBL heeft ingezet om een project gefinancierd te krijgen voor het landdekkend in kaart brengen van potentiële risico-locaties voor plassen op het land.

De auteurs bedanken Gert-Jan Noij en Caroline van der Salm voor hun creatieve bijdrage tijdens het project en het reviewen van het eindrapport.

Om de beschikbare bodemberging in kaart te brengen heeft Jan Wesseling berekeningen uitgevoerd met het door hem en Henk Vroon ontwikkelde modelinstrumentarium op basis van de BOFEK2012 profielen (Wösten *et al.*, 2013).

Daarnaast zijn bijdragen geleverd door Aaldrik Tiktak en Rob Hendriks, met betrekking tot de gebieden in Nederland waar mogelijk snelle drainage via macroporiën plaatsvindt, en Rob Hendriks die k-waarden voor Staringreeksbouwstenen heeft vergeleken ingeval van verzadiging ($h = 0$ cm) en bij een $h = -10$ cm.

Samenvatting

Uit veldonderzoek in Noord-Limburg en Waardenburg (Koopmans *et al.*, 2012 en Massop *et al.*, 2012) blijkt dat oppervlakkige afstroming van neerslag over het maaiveld van landbouwpercelen bijdraagt aan de belasting van het oppervlaktewater met nutriënten. Om deze belasting tegen te gaan kunnen maatregelen worden genomen, maar daarvoor is het noodzakelijk om te weten waar oppervlakkige afstroming kan plaatsvinden. Door de recente beschikbaarheid van een nieuw hoogtebestand met een hogere resolutie kan het reliëf van het maaiveld gedetailleerd in beeld worden gebracht om daarmee potentiële risicolocaties af te leiden.

Voor het in beeld brengen van plassen op het maaiveld is gebruik gemaakt van verschillende informatiebronnen, aan deze bronnen is naast hoogte-informatie informatie ontleend over locatie en vorm van agrarische percelen, ligging van oppervlaktewater, bodemkundige informatie en diepte van de grondwaterstand.

Oppervlakkige afstroming treedt op als de infiltratiecapaciteit van de bodem wordt overschreden bij intensieve neerslag of als na grote neerslaghoeveelheden de beschikbare waterberging van de bodem wordt overschreden en de grondwaterstand stijgt tot aan het maaiveld.

Overschrijding van de beschikbare bodemberging zal het eerste optreden op de lage plekken in het perceel, daarvoor is voor elk landbouwperceel de indeling in percentielen bepaald. Aangenomen is dat de 15% laagste delen het grootste risico vormen voor het ontstaan van plassen. Deze potentiële risicoplekken zijn samengevat in een afzonderlijk bestand.

Om te beoordelen of op de potentiële risicoplekken (15% laagste plekken) ook daadwerkelijk plassen ontstaan, is met behulp van bodemkundige informatie een kaart gemaakt met de inschatting van de infiltratiecapaciteit, alsmede een kaart met de beschikbare bodemberging bij GHG.

Of plassen een risico vormen voor de belasting van het oppervlaktewater wordt mede bepaald door de connectiviteit, daarvoor is voor elke natte plek de minimale en gemiddelde afstand tot oppervlaktewater berekend.

Mogelijk kunnen lage plekken in het perceel door transport via scheuren bijdragen aan de belasting van het oppervlaktewater, dit aspect is niet meegenomen bij de risico bepaling.

Voor de landbouwpercelen is ook de locatie van de maaivelddepressies bepaald. Door opvulling van de depressies is de maaiveldberging te bepalen.

De resultaatkaarten zijn beschreven aan de hand van enkele voorbeeldgebieden gelegen in het klei-, zand- en veengebied.

Om na te gaan of de berekende plassen overeenkomen met waarnemingen in het veld, zijn voor twee locaties, op een zandgrond ten noorden van Wageningen en een kleigrond bij Duiven, vergelijkingen tussen veld en kaart uitgevoerd. Ook luchtfoto's, op een geschikt moment genomen, maken vergelijking mogelijk.

Uit voorgaande projecten is gebleken dat de lage plekken meestal redelijk overeenkomen met de perceptie van de boeren. Er is een beperkt veldbezoek uitgevoerd waarbij bleek dat de waargenomen natte plekken vaak goed overeenkomen met de afgeleide kaart, maar ook dat niet alle berekende lage plekken daadwerkelijk leiden tot water op het maaiveld. Op basis van de verschillende afgeleide kaarten is een risicokaart gemaakt. Uit deze kaart blijkt dat het hoogste risico voor oppervlakkige afspoeling voorkomt in de kleigebieden van Friesland en Groningen, het rivierengebied en de veengebieden, zoals het Utrechts-Hollands en het Friese veengebied, terwijl in Zuid-Limburg het risico

het meest gering is. Bij het vervaardigen van de risicokaart is de maaiveldhelling niet meegenomen. De in deze studie vervaardigde kaarten bieden een handvat bij de keuze van locaties voor het nemen van maatregelen om oppervlakkige afstroming tegen te gaan, bijvoorbeeld door het blokkeren van oppervlakkige afvoer. In gesprekken met boeren zijn de kaarten een hulpmiddel, uiteraard weten de boeren zelf het beste waar oppervlakkige afstroming al dan niet voorkomt.

1 Inleiding

1.1 Voorgeschiedenis en achtergrond

Oppervlakkige afstroming levert waarschijnlijk een grote bijdrage aan de belasting van het oppervlaktewater met meststoffen en gewasbeschermingsmiddelen. Toch is relatief weinig bekend over het vóórkomen van oppervlakkige afstroming.

De eerste ideeën over het in kaart brengen van het risico voor oppervlakkige afstroming zijn ontwikkeld gedurende de fosfaatpilot in Noord-Limburg door Gert-Jan Noij, Jan van Bakel en Harry Massop (Noij *et al.*, 2006). De in de fosfaatpilot ontwikkelde methode is door Rini Schuiling en Harry Massop vervolgens toegepast in Noord-Limburg (Noij *et al.*, 2009), Landbouw Centraal (<http://www.kennismoetstromen.nl/>) en het stroomgebied van de Hunze (Van Hattum *et al.*, 2011). Bij deze onderzoeken is voor hoogte-informatie gebruik gemaakt van het AHN1 met een resolutie van 5 m. Inmiddels is het AHN2 met een resolutie van 0.5 m beschikbaar. Dit bestand geeft een groter detailniveau maar is vanwege de grootte (575 GB) lastig te hanteren. Met deze informatie moet het mogelijk zijn potentiële risicolocaties gedetailleerd in beeld te brengen.

Met het proefschrift van Appels (2013) is inmiddels ook het theoretische inzicht in het proces van maaiveldafvoer vergroot en zijn er nieuwe aanknopingspunten voor het karakteriseren van percelen in termen van afvoerrisico op basis van micro- en mesoreliëf. De in deze studie gevolgde benadering kan worden opgevat als uitwerking van het afvoerrisico op basis van mesoreliëf. Microreliëf wordt op een lager schaalniveau (<0.1 m) gekarakteriseerd en wordt voornamelijk bepaald door het gebruik en de groundbewerkingen op het perceel. Microreliëf, is daardoor veel dynamischer dan mesoreliëf. In het proefschrift wordt ingegaan op de interactie tussen micro- en mesoreliëf, het laat zien dat de groundbewerkingsrichting het risico van afspoeling kan vergroten of verkleinen. Dit biedt aanknopingspunten voor maatregelen om oppervlakkige afspoeling te reduceren met een Goede Landbouw Praktijk.

1.2 Probleemstelling

Oppervlakkige afstroming over maaiveld is een snelle afvoerroute van een deel van het neerslagoverschot naar het oppervlaktewater. Via deze route kunnen fosfaat, maar ook andere nutriënten en gewasbeschermingsmiddelen, gemakkelijk afspoelen naar het oppervlaktewater. Op basis van karteerbare kenmerken, zoals hoogte-informatie (AHN); perceelsinformatie (BRP en AAN), waterloopinformatie (TOP10NL) en bodemkundige informatie (bodemkaart) zijn een aantal kaarten af te leiden die kunnen worden gebruikt om het potentiële risico voor oppervlakkige afstroming landsdekkend in kaart te brengen, daarnaast kan de beschikbare maaiveldbergings worden bepaald. Het onderzoek heeft zich beperkt tot oppervlakkige afspoeling vanaf het perceel. Andere snelle routes zoals oppervlakkige afstroming via scheuren in de bodem is geen onderdeel van dit onderzoek.

1.3 Doelstelling

De doelstelling van dit project is het maken van kaarten waarmee het potentiële risico op het optreden van oppervlakkige afstroming in beeld kan worden gebracht.

Het project levert een kaart met daarop de lage plekken en een kaart met de beschikbare maaiveldbergings, dit zijn potentiële risicolocaties. De risico's op plassen als gevolg van hoge

grondwaterstanden en door overschrijding van de infiltratiecapaciteit wordt ook in beeld gebracht. De connectiviteit met open water wordt bepaald op basis van de minimale afstand tot de sloot. Deze kaarten zijn samengevoegd tot een risicokaart voor oppervlakkige afstroming. Hierbij is stroming via scheuren niet meegenomen.

Binnen het bestek van dit project was het nog niet mogelijk om de kaart met satelliet- of radarwaarnemingen te valideren.

De kaarten geven de opdrachtgever een beeld van de potentiële risicoplekken op landbouwgronden, en kunnen worden gebruikt bij de keuze van maatregelen om oppervlakkige afspoeling te voorkomen of beperken. De kaarten kunnen ook worden gebruikt voor de parametrisatie van rekenmodellen.

1.4 Leeswijzer

In hoofdstuk 2 wordt kort ingegaan op het infiltratieproces. In hoofdstuk 3 worden de gebruikte gegevensbronnen beschreven, vervolgens wordt in hoofdstuk 4 de methode beschreven waarmee de verschillende resultaatkaarten zijn berekend. In hoofdstuk 5 worden de resulterende kaarten beschreven aan de hand van enkele voorbeeldgebieden, tevens zijn de verschillende kaarten samengevoegd tot een risicokaart voor oppervlakkige afstroming. In hoofdstuk 6 is een beperkte validatie beschreven aan de hand van veldwaarnemingen en luchtfoto's. Tot slot volgen in hoofdstuk 7 de conclusies, discussie en aanbevelingen.

2 Processen

Meestal kan de neerslag infiltreren in de bodem, echter bij grote neerslaghoeveelheden kunnen zich plassen vormen op het land die in bepaalde situaties kunnen overlopen naar het aangrenzende oppervlaktewater. Infiltratie en eventuele plasvorming(ponding) is afhankelijk van de neerslagintensiteit, de neerslagduur en de eigenschappen van de bodem. Of water op het maaiveld blijft staan en/of oppervlakkig afstroomt (runoff) wordt vooral bepaald door de vorm van het maaiveld.

2.1 Infiltratieproces

Horton heeft het begrip infiltratiecapaciteit geïntroduceerd. De infiltratiecapaciteit is de maximale neerslagintensiteit die door de bodem nog kan worden geabsorbeerd onder de gegeven omstandigheden. De relatie tussen de neerslagintensiteit en de infiltratiecapaciteit bepaalt welk deel van de neerslag op het maaiveld leidt tot plasvorming en oppervlakkige afstroming en welk deel in de bodem infiltreert waarbij het wordt geborgen in de bodem, percoleert naar de ondergrond of lateraal afstroomt. De intensiteit van de infiltratie wordt de infiltratiesnelheid genoemd. Infiltratie wordt beïnvloed door eigenschappen van het bodemoppervlak en bodembedekking. Bodemverdichting, inspoeling van fijne deeltjes in de poriën en vorst beperken de infiltratiecapaciteit, terwijl de dikte van de waterlaag op maaiveld, bodemscheuren en maaiveldhelling de infiltratiecapaciteit vergroten. Bewerking van de bodem kan de infiltratiecapaciteit zowel vergroten als verkleinen. Vorst zorgt voor structuurverbetering waardoor de infiltratiecapaciteit verbetert. Vegetatiebedekking vergroot de infiltratiecapaciteit in vergelijking met kale grond doordat de oppervlakkige afstroming wordt vertraagd en omdat slempvorming door inslag regendruppels wordt tegengegaan. Onder bomen is de infiltratie groter dan onder gras. Vooral de strooisellaag verhoogt het waterbergend vermogen van de bodem en vormt een habitat voor wormen waardoor de infiltratiecapaciteit verder toeneemt. Akkerbouwgewassen bevinden zich met betrekking tot infiltratie tussen rij-gewassen en gras (Ward, 1975).

Slomp

Door de impact van (grote) regendruppels kan de bodemstructuur van de toplaag worden vernield en kunnen bodemdeeltjes opspatten en worden verplaatst. Bodemdeeltjes komen in de poriën terecht en blokkeren of remmen daarmee de infiltratie. Het bodemoppervlak wordt afgedicht. Verslemping van de bodem is een variant van dit proces op slempgevoelige gronden. Als een grond verslempd, is er sprake van te weinig binding tussen de bodemdeeltjes. Door de inslag van regendruppels treedt schifting op. Daarbij verstoppen de fijnere lutum- en siltdeeltjes de poriën in de bodem. Vooral lichte kleigronden en lössgronden zijn gevoelig voor slemp. Na de neerslag kan korstvorming optreden als de afgedichte toplaag uitdroogt en verhardt. Bij korstvorming is de infiltratiesnelheid zeer gering en leidt dus al bij geringe neerslag tot plasvorming. De aanwezigheid van vegetatie (bodembedekking) voorkomt afdichting door interceptie van neerslag, waarmee de energie van de regendruppels wordt geabsorbeerd.

De gevoeligheid voor verslemping wordt vooral veroorzaakt door de textuur en het organische stofgehalte. Gronden met meer dan 20% lutum verslempen nauwelijks. Ook gronden met weinig lutum verslempen bijna niet. Problemen doen zich vooral voor op gronden met lutumpercentages tussen de 11 en 20%. Bij voldoende organische stof in de bodem, komt verslemping minder snel voor (<http://www.bodemacademie.nl/index.php?i=131>). Verslemping kan dus worden verminderd door het organische stofgehalte van de bodem te verhogen, bijvoorbeeld door de teelt van groenbemesters. Ook helpt het om percelen zo kort mogelijk onbeteeld te laten door wintergewassen te telen en gewassen te kiezen die de bodem snel bedekken.

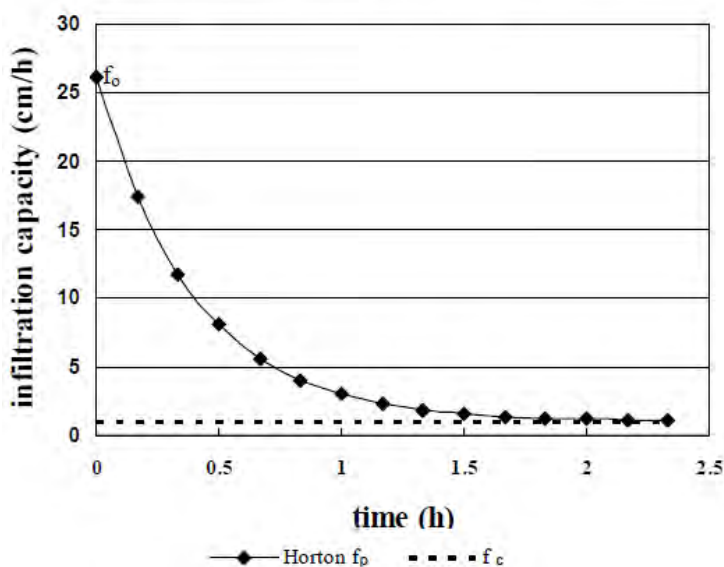
Zolang de neerslagintensiteit kleiner is dan de infiltratiecapaciteit infiltreert de neerslag volledig. Als echter de neerslagintensiteit groter wordt dan de infiltratiecapaciteit, dan raakt het bodemoppervlak verzadigd en wordt de infiltratie gelimiteerd door de doorlatendheid nabij maaiveld. De infiltratiesnelheid wordt bepaald door drukverloop (onder invloed van zuigspanning en zwaartekracht). Aanvankelijk ontstaat er een steile zuigspanningsgradiënt nabij maaiveld. Als het vochtfront vervolgens naar beneden beweegt neemt de zuigspanningsgradiënt af en gaat over in een stroming onder invloed van de zwaartekracht, waarbij de infiltratiesnelheid de verzadigde hydraulische doorlatendheid gaat benaderen.

Bij de waterbeweging in de bodem wordt lucht verdrongen. Ondiepe waterspiegels en relatief slecht doorlatende lagen vormen daarvoor een barriere, waardoor de infiltratiesnelheid vermindert. Voor droge bodems en bij weerstandbiedende lagen is vertraging van de infiltratie door ingesloten lucht de hoofdoorzaak, terwijl bij natte bodems, beperking van de aggregaat stabiliteit en bodemafdichting de hoofdoorzaak is van de beperking van de infiltratiesnelheid (Turner, 2006). Appels (2013) schrijft dat op basis van experimenteel en theoretisch onderzoek is voorgesteld dat de infiltratiesnelheid ca. de helft van de verzadigde doorlatendheid bedraagt.

De initiële infiltratiecapaciteit is bij een droge grond hoog door een grote zuigspanning aan het oppervlak. Als gronden waterafstotend zijn, dan kan de infiltratiecapaciteit echter gering zijn (Dekker, 1998). In de bijna-verzadigde zone zijn de potentiaalverschillen klein omdat er door het hoge vochtgehalte nauwelijks nog zuigspanningsverschillen optreden. Aanvankelijk is de infiltratiecapaciteit daardoor hoog en deze neemt vervolgens af en nadert tot een constante waarde (Figuur 2.1).

De meeste landbouwgronden in Nederland vertonen na een droge periode verschijnselen van waterafstotendheid. Dekker (1998) heeft vastgesteld dat na uitdroging waterafstotendheid belangrijke gevolgen heeft voor de bevochtiging en verdeling van het regenwater in deze gronden. Waterafstotende bovengronden kunnen tijdens regenbuien na langdurig droge perioden zowel oppervlakkige afstroming als bodemerosie veroorzaken. Daarnaast kunnen onstabiele vochtfronten en preferente stroombanen in waterafstotende gronden leiden tot versneld transport van nutriënten naar het grondwater en oppervlaktewater. Een belangrijke criterium bij waterafstotendheid is het kritisch bodemvochtgehalte, boven deze waarde is de bodem bevochtigbaar daaronder waterafstotend. Gebruik als grasland versterkt de waterafstotendheid, terwijl door gebruik als bouwland de waterafstotendheid afneemt

Horton Infiltration Capacity



Figuur 2.1 Verloop van de infiltratiecapaciteit volgens Horton.

Er zijn verschillende theorieën die het infiltratieproces beschrijven, zoals Horton, Holtan, Philip, Green en Ampt, Kostikov en Smith en Parlange (Turner, 2006).

Door Horton is de volgende vergelijking afgeleid (Figuur 2.1):

$$f_p = f_c + (f_0 - f_c)e^{-\beta t}$$

Hierin is:

f_p = infiltratiecapaciteit of potentiële infiltratiesnelheid (L/t),

f_c = de uiteindelijk constante infiltratiesnelheid (L/t),

f_0 = infiltratiecapaciteit op tijdstip $t = 0$ (L/t),

β = bodemparameter (1/t) die de afname van de infiltratiesnelheid bepaald en is afhankelijk van het initiële vochtgehalte en de neerslagintensiteit,

t = tijd na begin van de infiltratie (t).

Appels (2013) maakt in haar studie gebruik van de infiltratie vergelijking van Philips. Philips heeft aangetoond dat als water valt op een bodem met een uniforme initiële vochtinhoud, de oplossing van de Richards-vergelijking kan worden uitgedrukt als een oneindige machtreeks (Ward, 1975). Voor praktische toepassingen kan deze reeks worden beperkt tot twee termen:

$$f = \frac{S}{2\sqrt{t}} + k_v$$

Hierin is:

f = infiltratiesnelheid (L/T)

S = sorptivity (L/ \sqrt{T})

k_v = doorlaatfactor (L/T)

Sorptivity is door Philips gedefinieerd als een maat voor de capaciteit van een bodem om water te absorberen of desorberen in de poriën. Sorptivity is de cumulatieve infiltratie in het begin van het infiltratieproces, het is de dominante parameter in het begin van de infiltratie en is afhankelijk van het bodemtype en de initiële vochttoestand van de bodem.

De hydraulische doorlaatfactor k_v is de waarde waartoe de infiltratiesnelheid convergeert bij grote waarden voor t . Appels (2013) schrijft dat op basis van experimenteel en theoretisch onderzoek is voorgesteld dat:

$$k_v \approx 0,5 * k_s$$

Hierin is k_s de verzadigde doorlatendheid (L/T). Jarvis (1995, 2007) heeft voorgesteld de doorlatendheid bij drukhoogte van -10 cm te gebruiken (air entry value), dit wordt veelal toegepast bij modellen voor preferent transport. Hendriks (bijlage 2) laat zien dat beide benaderingen goed overeenkomen.

De vergelijking van Philips veronderstelt de aanwezigheid van een waterlaag (plassen) op het maaiveld, daarom is een tijdcorrectie noodzakelijk bij toepassing van deze infiltratieformule omdat de potentiële infiltratie bij het begin van de neerslag groter is dan de neerslagintensiteit. Onder de aanname dat de infiltratiesnelheid op een bepaald moment afhankelijk is van de cumulatief geïnfiltreerde waterhoeveelheid op dat moment worden twee tijdintervallen berekend.

Allereerst wordt een correctietijd t_c berekend waarbij de potentiële infiltratie snelheid f gelijk is aan de effectieve neerslag intensiteit p_e (L/T)

$$t_c = \frac{S^2}{4(p_e - k_v)^2}$$

Vervolgens wordt de tijd tot plasvorming (time to ponding) berekend uit de cumulatieve infiltratie op t_c , gedeeld door de neerslagintensiteit.

$$t_p = \frac{S\sqrt{t_c} + k_c t_c}{p_e}$$

De vergelijking van Philip die de infiltratie gedurende een neerslaggebeurtenis omschrijft kan als volgt worden herschreven (Appels, 2013):

$$f(t) = \begin{cases} p_e & t < t_p \\ \frac{S}{2\sqrt{t - (t_p - t_c)}} & t \geq t_p \end{cases}$$

Ingeval de infiltratie ruimtelijk niet uniform is verdeeld, kan bij plasvorming op de ene plek het overtollig water over maaiveld naar een andere plek stromen waar de tijd tot plasvorming nog niet is bereikt en daar alsnog infiltreren.

De infiltratieformule van Philips staat toe dat er een oneindige hoeveelheid water kan infiltreren. In de Nederlandse omstandigheden is de bergingscapaciteit van de bodem meestal beperkt als gevolg van ondiepe grondwaterstanden. Bij verzadiging, neemt de infiltratiecapaciteit van de bodem sterk af als de laterale grondwaterstroming klein is door kleine gradiënten in het grondwatervlak. Bij geringe bodemgeving zal de grondwaterstand snel tot in maaiveld stijgen en zullen plassen ontstaan.

Door Kraijenhoff van de Leur en Maasland (ILRI, 1973) is een analytische oplossing afgeleid voor stroming tussen twee waterlopen. Voor de grondwaterstand midden tussen de waterlopen geldt:

$$m_t = \frac{4P}{\pi\mu} j \sum_{n=1,3,5}^{\infty} \frac{1}{n^3} \left(1 - e^{-n^2 \frac{t}{j}}\right)$$

Hierin is:

m_t = opbolling van de grondwaterstand ten opzichte van ontwateringsbasis op tijdstip t (L)

P = neerslag (L/T)

μ = bergingscoëfficiënt (-)

j = reservoircoëfficiënt (T)

$$j = \frac{\mu L^2}{\pi^2 k D}$$

Hierin is:

D = gemiddelde dikte freatisch pakket (L)

k = doorlatendheid freatisch pakket (L/T)

L = afstand tussen de ontwateringsmiddelen (L)

Voor de specifieke afvoer op tijdstip t q_t (L/T) geldt:

$$q_t = \frac{8}{\pi^2} P \sum_{n=1,3,5}^{\infty} \frac{1}{n^2} \left(1 - e^{-n^2 \frac{t}{j}}\right)$$

De hoogte van de waterstand in de vergelijking van Kraijenhoff van de Leur en Maasland hangt alleen af van de optredende neerslag, de reservoircoëfficiënt en de bergingscoëfficiënt, terwijl de afvoer slechts afhangt van de neerslag en de reservoircoëfficiënt. De reservoircoëfficiënt is omgekeerd evenredig met de reactiefactor (α) van De Zeeuw. Een kleine waarde voor de reservoircoëfficiënt betekent een snelle reactie van het systeem op neerslag omgekeerd betekent een grote waarde voor de reservoircoëfficiënt een langzame reactie. J -waarden variëren tussen globaal 1 en 1000.

Kleine systemen, zoals een gedraineerd perceel, hebben een lage j-waarde dat betekent dat de grondwaterstand maar weinig zal fluctueren als gevolg van neerslag en dat door de laterale afvoer de waterspiegel weer snel uitzakt tot op drainniveau. Grote systemen met een grote slootafstand hebben een grote j-waarde waardoor de laterale afvoer geringer is en de grondwaterstand langzamer uitzakt.

Uit het voorgaande kan worden afgeleid dat er twee oorzaken zijn voor het ontstaan van plassen op het land, nl.:

- neerslagintensiteit is groter dan de infiltratiecapaciteit van de bodem,
- neerslagsom is groter dan de beschikbare bodemberging bij een geringe laterale afvoer.

2.2 Runoff

Bij voortdurende overschrijding van de infiltratiecapaciteit zal na verloop van tijd, de zogenaamde tijd tot plasvorming (time to ponding), water op het maaiveld verschijnen en worden depressies en lage plekken gevuld met water die vervolgens kunnen overlopen (runoff) naar het aangrenzende oppervlaktewater.

3 Materiaal

Voor het in kaart brengen van het risico op oppervlakkige afspoeling zijn verschillende informatiebronnen gebruikt, zoals informatie over maaiveldhoogte, perceelsindeling, ligging van waterlopen, bodemtypen en grondwaterstanden.

3.1 Maaiveldhoogte

Voor hoogte-informatie wordt gebruik gemaakt van het Actueel Hoogtebestand Nederland (AHN), dit is een bestand met voor heel Nederland gedetailleerde en precieze hoogtegegevens, een digitale hoogtekaart. De hoogte wordt gemeten met laseraltimetrie.

Laseraltimetrie of laserhoogtemeting, in het buitenland veelal lidar (*light detection and ranging, analoog aan radar voor radiostraling*) genoemd maakt gebruik van pulsen laserlicht die door een scanner aan boord van een vliegtuig of helikopter worden afgevuurd op het aardoppervlak. Door van het gereflecteerde licht de looptijd te meten, wordt de afstand tussen oppervlak en vliegtuig bepaald. Ook is de hoek van de bundel bekend. Het instrument scant al vliegend een strook onder het vliegtuig. Doordat met differentiële GPS de positie van het instrument nauwkeurig bekend is en met een traagheidsnavigatiesysteem (INS) de stand van het platform kan worden berekend, is het mogelijk uit de looptijd van de laserpulsen de hoogte van het oppervlak in bijvoorbeeld het (RD, NAP)-stelsel te berekenen.

Tussen 1997 en 2003 werd Nederland voor het eerst op deze manier gemeten. De hoogte van geheel Nederland is bekend met een precisie van ongeveer 15 centimeter en dat voor elke 16 vierkante meter. Dit bestand wordt aangeduid als het AHN-1. Tussen 2007 en 2012 hebben de waterschappen en Rijkswaterstaat een nieuwe versie laten maken die zelfs nog gedetailleerder en preciezer is: het AHN-2 (Figuur 3.1). Sinds 2012 is van heel Nederland voor elke 0,5 x 0,5 meter de hoogte gemeten met een precisie van ongeveer 5 centimeter beschikbaar.

Planning AHN-2 per juli 2009 actualisatieschema 2007-2012



Figuur 3.1 Inwinningsjaren van het AHN-2.

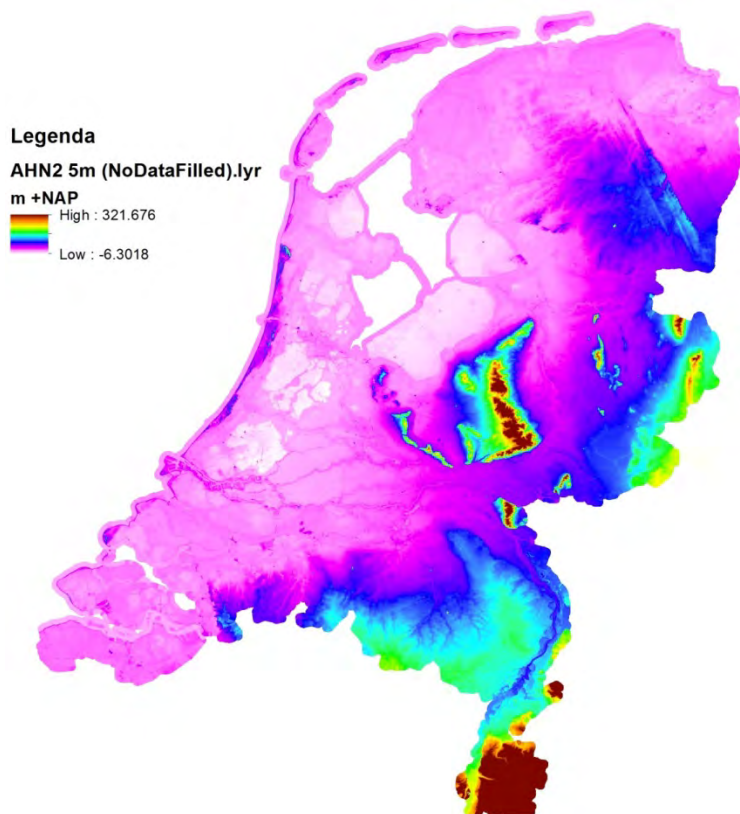
De kenmerken van het AHN-2 zijn samengevat in Tabel 3.1.

Tabel 3.1

Kenmerken AHN-2 (http://www.ahn.nl/bestellen/keuze_ahn_1_of_ahn_2).

Kenmerk	AHN -2
Inwinperiode	2007-2012
Systematische hoogtefout	5 cm of minder
Stochastische hoogtefout (1σ)	5 cm of beter
Punt dichtheid	Gemiddeld 8 punten/m ²
Filtering	Landelijk en stedelijk gebied is gefilterd conform maaivelddefinitie

In Figuur 3.2 is het AHN-2 voor Nederland weergegeven, dit is de versie met het 5 m-grid. Voor de analyse van de plassen is de 0,5 m-grid versie gebruikt.



Figuur 3.2 Landelijke dekking door AHN2

3.2 Percelen

Het doel van deze studie is om risico's op oppervlakkige afspoeling op perceelniveau in kaart te brengen, omdat dat het schaalniveau is waarop maatregelen kunnen worden overwogen, verder sluit het aan bij het management van de boer. Daarom is een landdekkende indeling in landbouwpercelen nodig. Er zijn meerdere bronnen voor gewaspercelen beschikbaar, nl. Top10-vector, BRP-percelen en AAN-percelen.

3.2.1 Top10NL-percelen

Het Kadaster is houder van de Basisregistratie Topografie (BRT). De BRT bestaat uit digitale topografische bestanden op verschillende schaalniveaus. Deze verzameling topografische bestanden is beschikbaar als open data.

TOP10NL is het digitale topografische basisbestand van het Kadaster. Dit is het meest gedetailleerde product binnen de Basisregistratie Topografie. TOP10NL is te gebruiken op schaalniveaus tussen 1:5.000 en 1:25.000. Het bestand is uniform, consistent en landsdekkend.

Het bestand is opgebouwd uit verschillende topografische elementen, zoals:

- wegdeel
- spoorbaanddeel
- waterdeel
- gebouw
- terrein
- inrichtingselement
- reliëf
- registratief gebied
- geografisch gebied
- functioneel gebied.

Sloten smaller dan zes meter komen binnen de TOP10NL als lijnelementen voor en niet als vlakken.

3.2.2 BRP

Elk jaar zijn agrarisch ondernemers verplicht om tussen 1 april en 15 mei de Gecombineerde opgave in te vullen. Dit is een geïntegreerde opgave voor Landbouwtelling, mestwetgeving en GLB Verzamelaanvraag (aanvraag bedrijfstoelage en subsidies). Deze opgave wordt in dit rapport verder aangeduid als de 'landbouwmeitelling'. Het doel van de telling is om inzicht te krijgen in de ontwikkelingen binnen de Nederlandse land- en tuinbouw. De meeste aanvragen worden tegenwoordig per internet ingevuld. Voor subsidietoekenning is vaak informatie nodig met betrekking tot de locatie van percelen en de geteelde gewassen. Bij de Gecombineerde opgave geeft de geënquêteerde daarom de gewaspercelen op die hij op 15 mei in Nederland in gebruik heeft. Deze percelen worden ingetekend op kaarten. Deze kaarten zijn onder voorwaarde ook digitaal beschikbaar, via de Basisregistratie Percelen (BRP). Het BRP – Gewaspercelen bestand bevat de locatie van landbouwpercelen met daaraan gekoppeld het geteelde gewas. Dit bestand is een selectie van informatie uit de Basisregistratie Percelen (BRP) van Dienst Regelingen. De omgrenzingen van de landbouwpercelen zijn gebaseerd op de Top10vector. De gebruiker van het perceel geeft aan welk gewas wordt geteeld op het betreffende perceel (Van Os *et al.*, 2010).

In Figuur 3.3 is de dekking op basis van het BRP-percelenbestand weergegeven. In de figuur zijn de grote natuurgebieden en de stedelijk gebieden als witte vlekken herkenbaar. Ook valt op dat het Westland grotendeels als witte vlek is weergegeven, dit komt omdat de glastuinbouw niet is opgenomen in het BRP-percelenbestand.



Figuur 3.3 Dekking van Nederland met percelen waarvoor gegevens uit de landbouw-meitellingen beschikbaar zijn.

3.2.3 AAN-percelen

Bij een audit op oppervlaktesteun door de Europese Commissie in 2009 bleek dat de percelen in het perceelsregister te ruim zijn vastgelegd en dat de actualiteit onvoldoende was. Hierop is een plan van aanpak gemaakt om te komen tot een EU-conform perceelsregister (Meijer en Kroon, 2010). Dit plan hield in het maken van een compleet nieuwe referentielaaag op basis van luchtfoto's en het in eigen beheer nemen van de actualisatie van deze nieuwe referentielaaag. Om aan de gestelde definities en uitgangspunten te voldoen heeft Nederland de zogenaamde AAN (Agrarisch Areaal Nederland)-percelen gecreëerd. Een AAN-perceel is een fysiek blok/topografisch perceel:

- Het AAN-perceel wordt begrensd door semi-permanente grenzen. Het gaat hierbij om grenzen die op het moment van het creëren van het AAN-perceel zichtbaar zijn. Door bijvoorbeeld ruilverkaveling kan de grens verdwijnen of wijzigen.
- Het AAN-perceel kan bestaan uit één of meerdere gewaspercelen.
- Het AAN-perceel kan een of meerdere gebruikers hebben.

De buitengrenzen van het AAN-perceel begrenzen de maximaal beschikbare oppervlakte landbouwgrond van het perceel. Dit is de oppervlakte die maximaal beschikbaar is voor het uitoefenen van landbouwactiviteiten.

De begrenzing van het AAN-perceel kan bepaald worden door:

- Semi-permanente fysieke elementen, zoals bijvoorbeeld een sloot, heg, bomenrij, bebouwing, weg, etc.
- Functie van de grond, als grond een andere functie heeft dan landbouwgrond (berm, erf, opslag, tuin, etc.), dan ligt de grens van het perceel landbouwgrond op het scheidingsvlak van deze verschillende functies.
- Het AAN-perceel bevat zoveel mogelijk één type vegetatie (bouwland, grasland, blijvende teelten, bos, als deze subsidiabel is).
- De landsgrens. Een AAN-perceel kan niet deels buiten Nederland liggen.

Verder is de minimale oppervlakte van een AAN-perceel 0,01 ha (100 m²) (Meijer en Kroon, 2010).

Een AAN-perceel is opgebouwd uit één of meerdere BRP-percelen. Verder hebben AAN-percelen als voordeel dat de sloten en wegen nauwkeurig zijn uitgekarteerd, dat in de TOP10 niet altijd het geval is. Vooral sloten en watergangen zijn nauwkeurig uitgekarteerd en die zitten in TOP10NL als lijnobject. Een groot deel van de lage plekken zouden daardoor op de perceelsranden komen te liggen waar in werkelijkheid een watervlak is gesitueerd.

3.3 Waterlopen

Om te bepalen of plassen risicolocaties vormen voor belasting van het oppervlaktewater is informatie over de ligging van plassen ten opzichte van oppervlaktewater noodzakelijk. In dit onderzoek is waterloopinformatie uit de TOP10NL gebruikt. De TOP10NL onderscheidt naar breedte en droogval oppervlaktewater als lijnvormige elementen en als vlakvormige elementen. De lijnvormige elementen zijn onderverdeeld in:

- Greppels en droogvallende waterlopen.
- Waterlopen 0,5 - 3 m.
- Waterlopen 3-6 m.

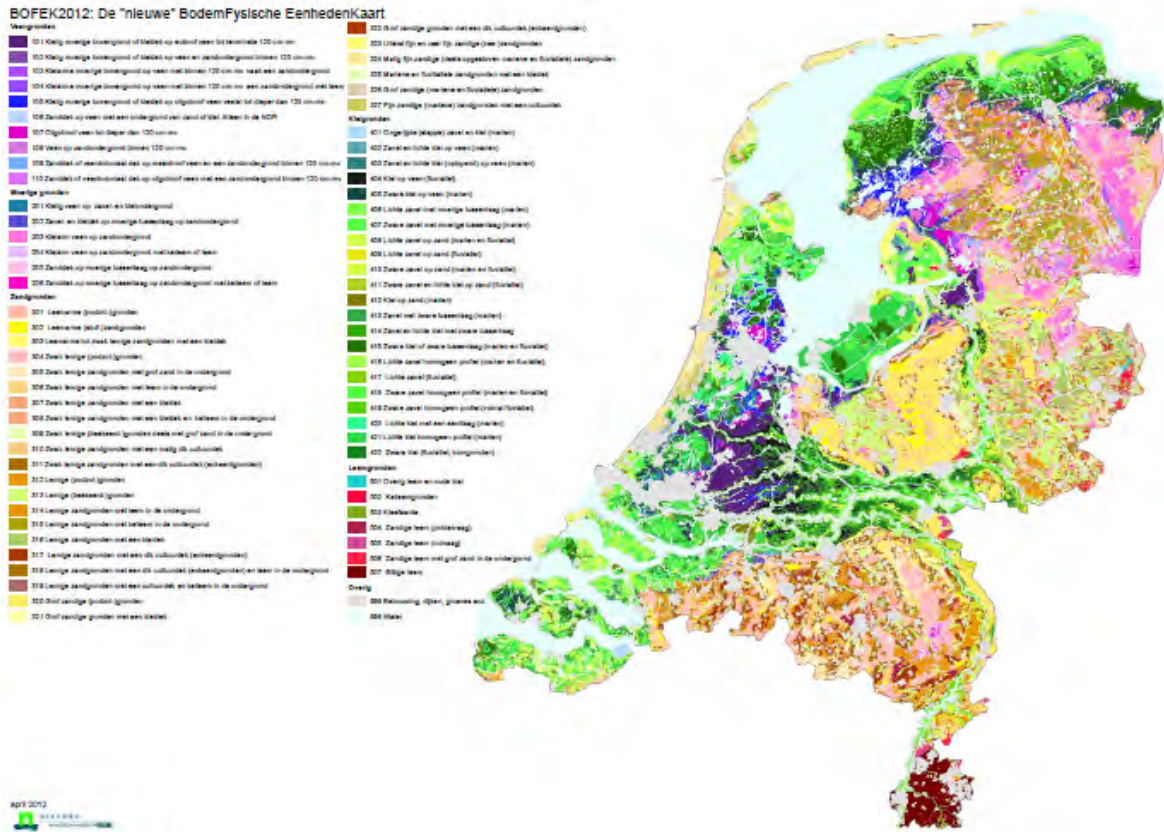
De lijnvormige wateren uit de TOP10NL zijn omgezet naar vlakvormige wateren met de werkelijke breedte afgeleid via ruimtelijke analyse met AAN-percelen.

Waterlopen smaller en ondieper dan 0,5 m komen niet voor in de Top10NL. Dit betekent dat zogenaamde maaiveldgreppels ontbreken in de TOP10NL. Waterlopen breder dan 6 m zijn als vlakvormige waterlopen opgenomen in de TOP10NL. De meerwaarde van het gebruik van AAN-percelen ligt in het feit dat waterlopen kleiner dan 6 m zijn meegenomen voor de begrenzing van de percelen.

3.4 Bodemkundige gegevens

3.4.1 Bodemberging

Of de grondwaterstand bij een regenbui stijgt tot in het maaiveld is afhankelijk van de beschikbare bodemberging en de grootte van de laterale afvoer. Door Wösten *et al.* (2012) is een nieuwe bodemfysische schematisatie van Nederland gemaakt (Figuur 3.4).



Figuur 3.4 Nieuwe bodemfysische schematisatie van Nederland, BOFEK2012.

Door Wösten *et al.*, 2012 is de bodemfysische en bodemchemische schematisering van Nederland in 315 bodemeenheden (De Vries, 1999) geclusterd tot 72 eenheden. De clustering is uitgevoerd op een aantal functionele kenmerken, zoals:

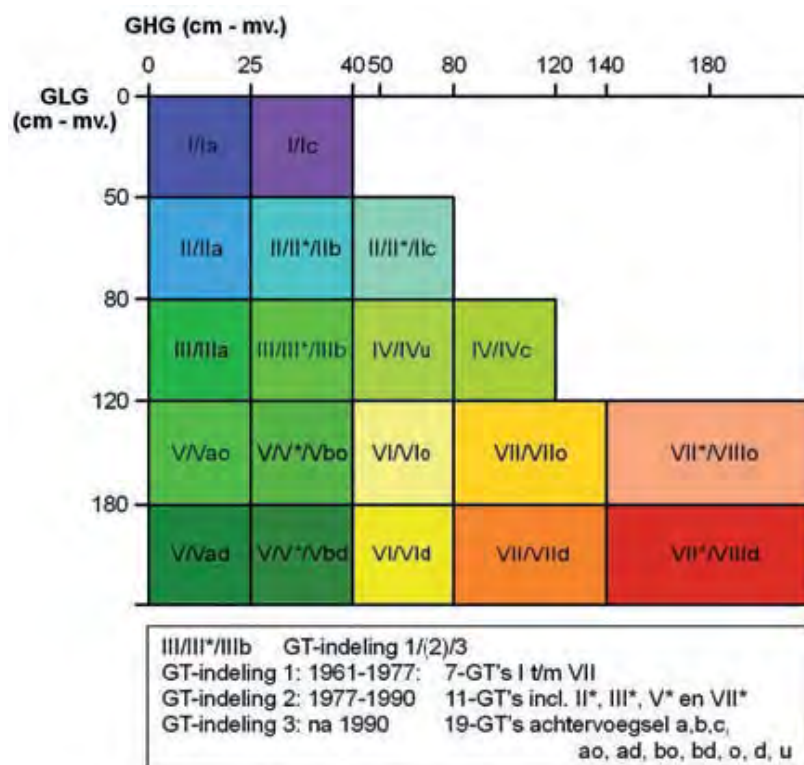
- Maximale diepte van de grondwaterstand waarbij een opwaartse (of capillaire) flux van 1 mm/d en een flux van 2 mm/d de onderkant van de wortelzone (bij pF 4.2) nog kan bereiken (kritieke z-afstand bij 1 mm/d en 2 mm/d).
- Het verzadigingstekort oftewel de beschikbare bodemberging bij een flux van 1 mm/d en 2 mm/d over de bodemlagen tussen de berekende grondwaterstand en maaiveld.
- De weerstand voor verticale stroming (c-waarde) van het profiel tussen maaiveld en 1,20 m-mv.
- De transmissiviteit (kD-waarde) van het bodemprofiel.
- De hoeveelheid beschikbaar vocht in de wortelzone, onderverdeeld in gemakkelijk opneembaar en moeilijk opneembaar.

Op basis van clusteranalyse zijn de 315 bodemeenheden samengevoegd tot 72 verschillende eenheden, geclusterd binnen de hoofdeenheden veengronden, moerige gronden, zandgronden, kleigronden en leemgronden.

Voor elk van de 72 bodemeenheden is de profielopbouw en de bijbehorende bodemfysische bouwsteen uit de zogenaamde Staringreeks bekend. De BOFEK2012-kaart kan daardoor worden gebruikt om grondwaterstands-bergingsrelaties af te leiden, ook kan een inschatting worden gemaakt van de infiltratiecapaciteit van de ondiepste bouwsteen.

3.4.2 Grondwaterstandsdiepte

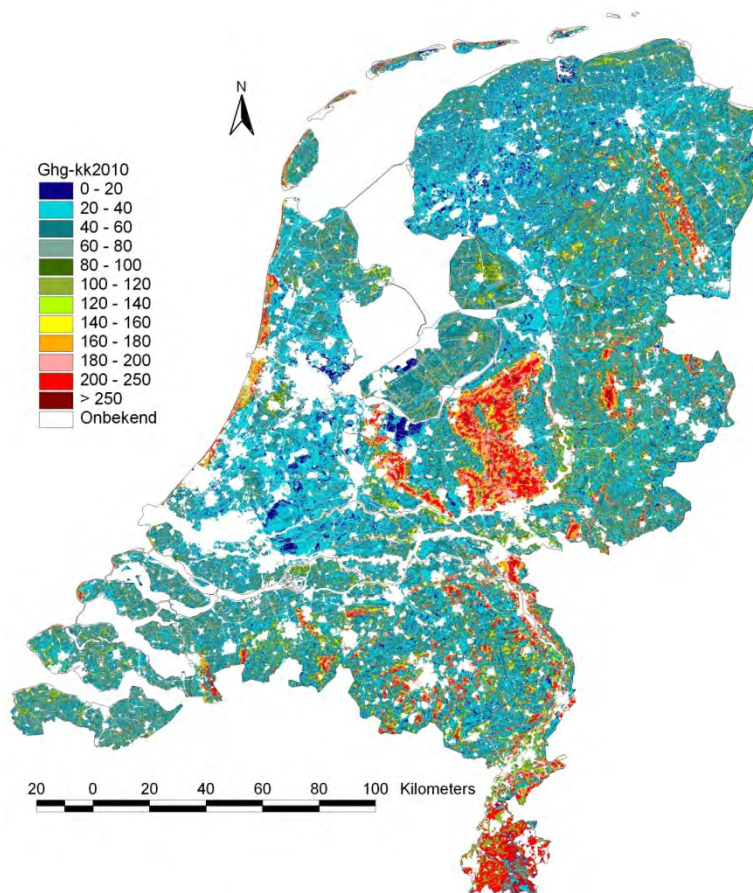
De (freatische) grondwaterstand varieert in de tijd en kan worden gekarakteriseerd met de grondwatertrap. De grondwatertrap is een combinatie van GHG- en GLG-klassen. De GHG is Gemiddeld Hoogste Grondwaterstad gedefinieerd als de top van de grondwateregime-curve, die doorgaans wordt berekend op basis van het gemiddelde van de HG3, voor een hydrologisch jaar, over een aaneengesloten periode van tenminste acht hydrologische jaren waarin geen waterhuishoudkundige ingrepen hebben plaatsgevonden. Idem is GLG de Gemiddeld Laagste Grondwaterstand gebaseerd op het gemiddelde van de LG3 (Van der Gaast *et al.*, 2010). De grondwatertrappenindeling is in de loop der tijd een aantal malen verfijnd (Figuur 3.5).



Figuur 3.5 Grondwatertrappenindeling (Van der Gaast *et al.*, 2010).

De grondwatertrappenindeling die ook is opgenomen in de bodemkaart onderscheidt klassen voor de GHG en GLG. Van der Gaast *et al.* (2010) hebben een GHG en GLG-gridkaart afgeleid waarbij per gridcel (van 25 x 25 m resolutie) een waarde is toegekend in cm ten opzichte van maaiveld. Uit tijdreeksresultaten van peilbuizen is het gemiddelde en de standaardafwijking per GT-klasse bepaald voor de GHG en de GLG. Deze gegevens kunnen worden vertaald in een kansverdeling. Deze informatie is gebruikt om de GT-vlakken in de bestaande bodem- en GT-kaart schaal 1 : 50.000 naar te schalen naar 25*25 m. Naast de kansverdeling van de GT is ook de maaiveldhoogteverdeling van het GT-vlak bekend. Met de beschikbaarheid van AHN kan ook van het maaiveld een kansverdeling worden gemaakt. Door de kansverdeling voor het maaiveld binnen een bodem/GT-vlak op de bodem- en GT-kaart schaal 1 : 50.000 te transformeren naar een kansverdeling voor de GxG, heeft Van der Gaast kaarten voor de GxG afgeleid.

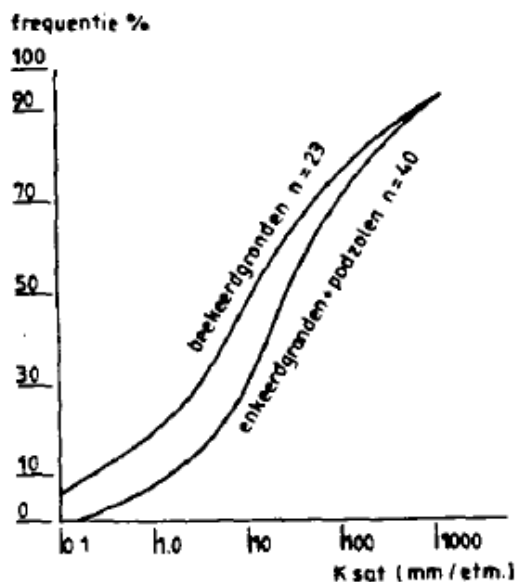
De GHG geeft het grondwaterstandsniveau weer dat gemiddeld 15 - 30 dagen per jaar wordt overschreden. Omdat oppervlakkige afstroming zich vooral in de winter voordoet is voor de bepaling van de beschikbare berging in de ondergrond de GHG-kaart (Figuur 3.6) gebruikt.



Figuur 3.6 GHG-kaart volgens Van der Gaast *et al.*, (2010).

3.4.3 Infiltratiemetingen

Met een ringinfiltrometer of een regensimulator kan in het veld de infiltratiecapaciteit worden gemeten. Door Fonck (1968) zijn 63 infiltratiemetingen uitgevoerd op grasland, de frequentieverdeling hiervan is weergegeven in Figuur 3.7. Uit deze figuur blijkt dat voor 30% van de enkeerd-, veldpodzol- en laarpodzolgraslanden maximale infiltratiesnelheden voorkomen van minder dan 10 mm/d. Voor grasland op beekerdgronden is dit zelfs 50%. De Rijksdienst IJsselmeerpolders (1979) vond in grasland op lichte en zware zavelgronden maximale infiltratiesnelheden die variëren van 100 tot 1000 mm/dag, in het geval dat de percelen nauwelijks werden betreden, tot minder dan 10 mm/dag bij intensieve betreding. Fonck (1968) heeft ook infiltratiemetingen uitgevoerd op bouwlandpercelen. Hier worden over het algemeen infiltratiesnelheden gevonden hoger dan op grasland (RIVM, 1987).



Figuur 3.7 Frequentieverdeling van infiltratiesnelheden in graslandpercelen op zandgrond (naar Fonck, 1968, bewerkt door Huinink, 1986).

Door Wierda (1990) zijn in de zomer van 1989 infiltratiemetingen gedaan met een regensimulator in het gebied Drentse Aa. Het zwaartepunt van alle meetdata ligt bij een k_v van 60 cm/d. Wierda (1990) merkt op dat het meten van het infiltratiegedrag van bodems met de ringinfiltrometer veel moeilijkheden oplevert met de interpretatie van de resultaten. De infiltratiecapaciteit van landbouwpercelen is zeer variabel en hangt namelijk meer af van de grondbewerking dan van stabiele bodemfactoren (Wierda, 1990).

In Noord-Limburg zijn voor het onderzoek naar oppervlakkige afspoeling aan het eind van de winter metingen van de infiltratiesnelheid uitgevoerd met de ringinfiltrometer binnen de plekken waar zich plassen vormen (Massop *et al.*, 2012). Op drie locaties zijn meerdere metingen uitgevoerd en de mediaan van infiltratiesnelheden varieerden tussen 3,6 en 9,1 cm/d. Deze waarden zijn een factor 6-16 lager dan bij Wierda maar vallen binnen de range van Fonck. De lagere waarden in Limburg kunnen mogelijk worden verklaard door:

- Diepte grondwaterstand, door de ondiepe grondwaterstand is er geen sprake van vrije infiltratie.
- Grondbewerking, deze heeft bijna een jaar geleden plaats gevonden, sindsdien is het maaiveld nagezakt en verslemt.
- Verdichting zode en betreding op het beweede perceel.

In zware gronden kunnen als gevolg van uitdroging en krimpen scheuren ontstaan (Figuur 3.8). Deze scheuren verhogen de infiltratiecapaciteit en daardoor vindt de drainage van het neerslagoverschot na een droge periode hoofdzakelijk via deze scheuren plaats. Scheuren sluiten zich weer geheel of gedeeltelijk in natte perioden (winter). Tijdens onderzoek in Waardenburg (Koopmans *et al.*, 2012) is waargenomen dat in de zomer de drainage vrijwel geheel via de scheuren en de buisdrainage plaatsvindt, maar dat zodra de scheuren zich sluiten het grootste deel van het neerslagoverschot over maaiveld via zogenaamde maaiveldgreppels wordt afgevoerd.

Uit het onderzoek van Fonck (1968), Wierda (1990) en Massop (2012) blijkt dat in de praktijk een grote variatie aan infiltratiesnelheden wordt gevonden. Daarnaast kunnen ondiepe grondwaterstanden, verslemping en verdichting door betreden de infiltratiecapaciteit beperken, terwijl het ontstaan van krimpscheuren de infiltratiesnelheid verhoogt. Een globale inschatting van de infiltratiesnelheid aan maaiveld kan worden verkregen door combinatie van de bodemkundige eigenschappen van de toplaag uit de BOFEK-kaart (Wösten *et al.*, 2012) met bodemfysische eigenschappen volgens de Staringreeks (Wösten *et al.*, 1989, 1994 en 2001).



Figuur 3.8 Voorbeeld van krimpscheuren.

3.4.4 Verticale waterflux

De grondwaterstand-bergingsrelatie is mede afhankelijk van grootte en richting van de waterflux in de onverzadigde zone. In de winterperiode is er een neerslagoverschot en is de verticale waterflux naar beneden gericht. In de zomer is er veelal een vochttekort en in die situatie is de waterstroming vaak naar de wortelzone gericht. Bij deze situaties horen verschillende grondwaterstands-bergingsrelaties.

Plassen op het land komen vooral in de winter voor. In de winter bedraagt de neerslag ca. 400 mm, de verdamping is gering, gemiddeld is er dus sprake van een neerwaartse flux van ca. 2 mm/d. Voor de bepaling van de beschikbare bodemberging wordt de grondwaterstands-bergingsrelatie gebruikt die hoort bij neerwaartse flux van 2 mm/d, deze geeft een geringere bodemberging bij eenzelfde grondwaterstand in vergelijking met hydrostatisch drukverloop.

3.4.5 Buisdrainage en reservoircoëfficiënt

De reservoircoëfficiënt of j -waarde is een maat voor de reactie van de grondwaterstand op een neerslaggebeurtenis alsook hoe snel de grondwaterstand vervolgens weer uitzakt. Een belangrijke parameter die de grootte van de j -waarde bepaald is de drain/slootafstand. Bij geringe drain/slootafstanden stijgt de grondwaterstand beperkt en is het neerslagoverschot weer snel afgevoerd.

De buisdrainagekaart (Massop *et al.*, 2012) geeft inzicht waar buisdrainage kan worden verwacht. Op gedraineerde percelen is de drainafstand en daarmee de drainageweerstand gering, de grondwaterwaterstand blijft overwegend beneden de 30/50 cm-mv (grasland/bouwland, drainagecriterium). Hierdoor is de kans op plasvorming gering en is dit een geschikte maatregel om plasvorming tegen te gaan. Bij kleigronden kan wel snelle afvoer plaatsvinden via scheuren. De j -waarde is niet landelijk uitgewerkt in dit onderzoek, wel kan de buisdrainagekaart worden gebruikt om gebieden met kleine j -waarden te identificeren.

3.5 Meteodata

Om te kunnen bepalen of de infiltratiecapaciteit wordt overschreden of dat de beschikbare bodemberging is opgevuld is inzicht in de meteodata nodig.

Door Buishand en Wijngaard (2007) zijn voor verschillende korte neerslagduren (D) en herhalingstijden (T) neerslaghoeveelheden gegeven (Tabel 3.2). Zo kunnen we uit Tabel 3.2 aflezen dat tweemaal per jaar een bui van 10 mm gedurende een uur valt, dit komt overeen met een intensiteit van 240 mm/d.

Tabel 3.2

Terugkeerniveaus van neerslag (in mm) voor verschillende herhalingstijden (T) en neerslagduren (D) (Buishand en Wijngaard, 2007).

Jaar		D (minuten)					
		5	10	15	30	60	120
T=	0.5 jaar	4	5	6	8	10	13
T=	1 jaar	5	7	9	11	14	17
T=	2 jaar	7	10	11	14	18	21
T=	5 jaar	9	13	15	19	23	26
T=	10 jaar	11	15	18	23	27	31
T=	20 jaar	12	18	21	27	32	36
T=	50 jaar	15	21	26	32	38	42
T=	100 jaar	17	25	29	37	43	48
T=	200 jaar		28	33	42	49	54
T=	250 jaar		29	34	43	51	56
T=	500 jaar		32	39	49	57	62
T=	1000 jaar		36	43	54	64	69

Voor langere neerslagduren is door Smits *et al.* (2004) een overzicht gegeven van de statistiek van extreme neerslag (Tabel 3.3).

Tabel 3.3

Terugkeerniveaus van neerslag (in mm) voor verschillende herhalingstijden (T) en neerslagduren (D) (Smits *et al.*, 2004).

Jaar		D (uren)				D (dagen)			
		4	8	12	24	2	4	8	9
T=	0.1 jaar	9	12	13	15	19			
T=	0.2 jaar	12	15	17	21	26	33	43	45
T=	0.5 jaar	16	20	23	28	35	45	61	64
T=	1 jaar	21	24	27	33	41	52	71	75
T=	2 jaar	25	29	32	39	48	60	81	86
T=	5 jaar	31	36	40	47	58	71	94	99
T=	10 jaar	36	41	46	54	65	80	103	109
T=	20 jaar	41	47	52	61	73	89	113	118
T=	25 jaar	43	49	54	63	75	91	115	121
T=	50 jaar	49	56	61	71	84	100	124	130
T=	100 jaar	55	62	68	79	92	109	133	138
T=	200 jaar	61	69	75	87	101	118	141	146
T=	500 jaar	71	79	86	98	113	130	152	156
T=	1000 jaar	78	88	95	108	123	140	159	163

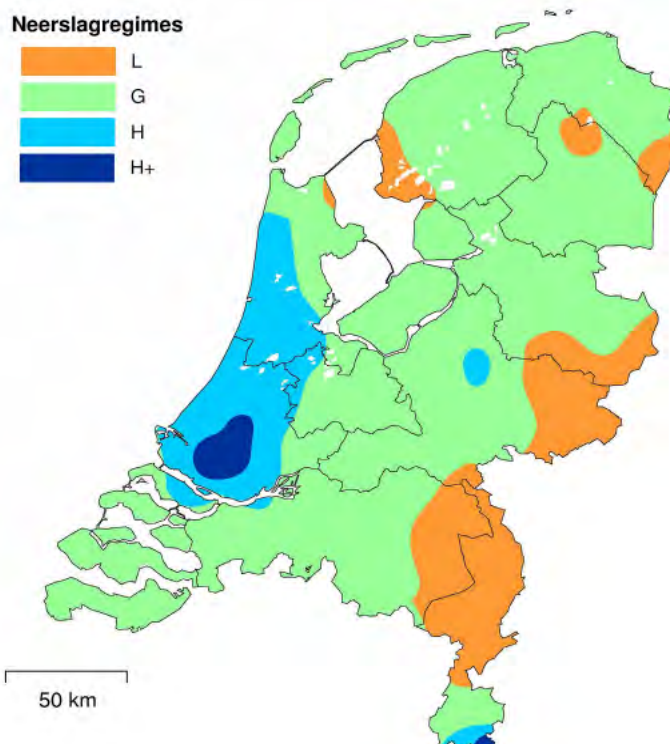
Uit Tabel 3.3 kunnen we bijvoorbeeld afleiden dat tien keer per jaar binnen 24 uur een bui van 15 mm valt. Zo'n bui zal echter niet gelijkmatig over de dag verdeeld zijn. In Tabel 3.4 is voor een aantal neerslagduren (D) de verdeling van de neerslag binnen die uren weergegeven.

Tabel 3.4

Verdeling van de neerslag in percentielfracties binnen de neerslagduur voor een aantal verschillende neerslagduren binnen gebied G uit Figuur 3.9 (Smits et al., 2004). Bijvoorbeeld: in 90% van de gevallen valt 0.12 van het totaal van een bui van 24 uur binnen een uur en in 10% van de gevallen zelfs 0.55 van het totaal.

Duur van de gebeurtenis	Percentiel	Fractie van de neerslaghoeveelheid				
		1 uur	1/8 duur	1/4 duur	1/2 duur	3/4 duur
24 uur		1 uur	3 uur	6 uur	12 uur	18 uur
	90%	0.12	0.26	0.42	0.61	0.80
	50%	0.21	0.43	0.61	0.79	0.93
	10%	0.55	0.77	0.89	0.97	1.00
48 uur		1 uur	6 uur	12 uur	24 uur	36 uur
	90%	0.10	0.29	0.40	0.59	0.75
	50%	0.17	0.47	0.58	0.77	0.89
	10%	0.46	0.73	0.82	0.96	1.00
96 uur		1 uur	12 uur	24 uur	48 uur	72 uur
	90%	0.08	0.28	0.41	0.57	0.72
	50%	0.12	0.44	0.54	0.73	0.87
	10%	0.34	0.63	0.82	0.92	0.98
192 uur		1 uur	24 uur	48 uur	96 uur	144 uur
	90%	0.05	0.29	0.40	0.57	0.72
	50%	0.09	0.37	0.51	0.70	0.86
	10%	0.21	0.60	0.68	0.86	0.95

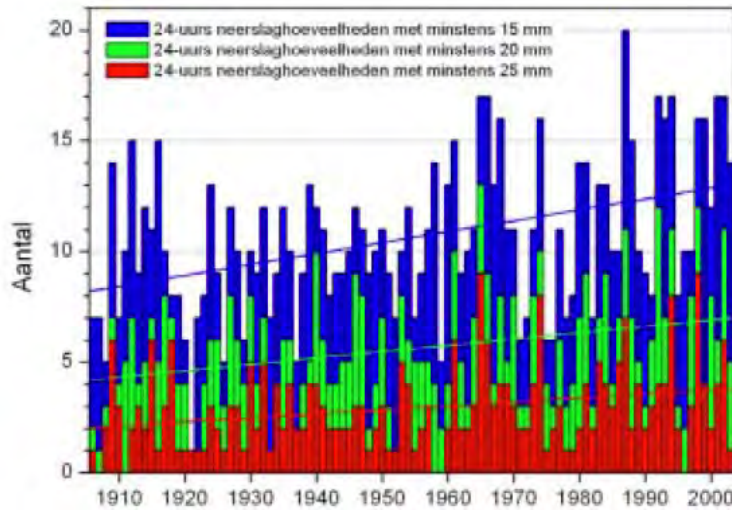
Uit Tabel 3.4 blijkt voor elke neerslagduur (bui), dat in 50% van de gebeurtenissen binnen een kwart van de tijd meer dan 50% van de neerslag valt en in 90% van de gebeurtenissen meer dan 40% van de totale neerslag van die bui.



Figuur 3.9 Vier te onderscheiden neerslagregimes met elk een eigen extreme waarden statistiek.

Buishand *et al.* (2009) onderscheiden qua neerslagregimes vier gebieden voor Nederland (Figuur 3.9). Tabel 3.3 komt overeen met gebied G. Ook voor de andere drie gebieden zijn vergelijkbare Tabellen beschikbaar.

Uit het onderzoek van Smits *et al.*, 2004 blijkt verder dat het aantal dagen met buien met een grote neerslaghoeveelheid is toegenomen sinds 1906 (Figuur 3.10 en Tabel 3.5).



Figuur 3.10 Dagen met minstens 15, 20 en 25 mm (respectievelijk $\pm 11,6$ en drie keer per jaar) neerslag voor De Bilt in het tijdvak 1906 – 2003 (Smits *et al.*, 2004).

Tabel 3.5

24-uurs neerslaghoeveelheden (mm) voor de tijdvakken 1906, - 1954 en 1955-2003 voor verschillende overschrijdingsfrequenties voor de Bilt (Smits *et al.*, 2004).

Overschrijdingsfrequentie		Tijdvak		Verschil (%)
		1906-1954	1955-2003	
20x	per jaar	9.6	10.7	11.5
10x	per jaar	14.4	16.4	13.9
5x	per jaar	19.8	21.6	9.1
2x	per jaar	27.1	28.0	3.3
1x	per jaar	32.8	33.2	1.2

Tijdens het veldonderzoek in Limburg (Massop *et al.*, 2012) zijn de meetlocaties wekelijks bezocht, hierbij is geconstateerd dat gedurende 6-9 weken oppervlakkige afstroming is opgetreden. Als deze runoff het gevolg is van één neerslagevent gedurende deze week, dan is de oppervlakkige afstromings-frequentie 6-9 keer per jaar. Deze frequentie kunnen we vergelijken met de neerslagfrequentie.

Uit Tabel 3.3 blijkt dat een bui van 15 mm tien keer per jaar en een bui van 21 mm vijf keer per jaar voorkomt. De periode waarin oppervlakkige afstroming in Limburg veroorzaakt door ondiepe grondwaterstanden, is opgetreden beperkt zich vooral tot de maanden januari t/m maart. In deze periode valt ca. 2-3 keer een bui van 15 mm en 1-2 keer een bui van 21 mm. In deze periode is 6-9 keer oppervlakkige afstroming geconstateerd zodat een bui kleiner dan 15 mm aanleiding kan geven tot plasvorming.

Overschrijding van de infiltratiecapaciteit van een bodem kan optreden bij een grote neerslagintensiteit. Grote neerslagintensiteiten zijn meestal van korte duur. Zo valt er gemiddelde tweemaal per jaar gedurende een uur 10 mm neerslag. Dit komt overeen met een neerslagintensiteit van 240 mm/dag. Uit Figuur 2.1 blijkt dat de infiltratiecapaciteit aanvankelijk zeer hoog kan zijn, maar dat deze vervolgens snel afneemt. De voorgeschiedenis, droge of natte periode, is van invloed of gedurende de bui de tijd tot plasvorming (time to ponding) wordt bereikt.

Concluderend:

- Hoge neerslagintensiteiten kunnen aanleiding geven tot overschrijding van de infiltratiecapaciteit, waardoor op het gehele perceel, op zowel lage als hoge plekken, water op het maaiveld kan komen te staan. Voor een globale benadering of er plassen kunnen ontstaan als gevolg van overschrijding van de infiltratiecapaciteit kan een landsdekkende k_{sat} waardekaart worden afgeleid voor de bovenste bodemlaag, deze kaart kan vervolgens worden vergeleken met veldmetingen.
- Grote neerslaghoeveelheden kunnen in gronden met geringe bergingscapaciteit ertoe leiden dat de grondwaterstand stijgt tot aan het maaiveld, hierbij zullen er plassen ontstaan vooral op lage plekken. Een beschikbare bodemberging van 10-20 mm zal een aantal maal per jaar door een neerslaggebeurtenis worden opgevuld en kunnen leiden tot plasvorming.
- Door klimaatverandering zal het aantal dagen met grote buien toenemen, waardoor ook de frequentie van plasvorming kan toenemen.

4 Methoden

4.1 Inleiding

Als eerste stap zijn een aantal basisbestanden vervaardigd die noodzakelijk zijn in de verdere procedure.

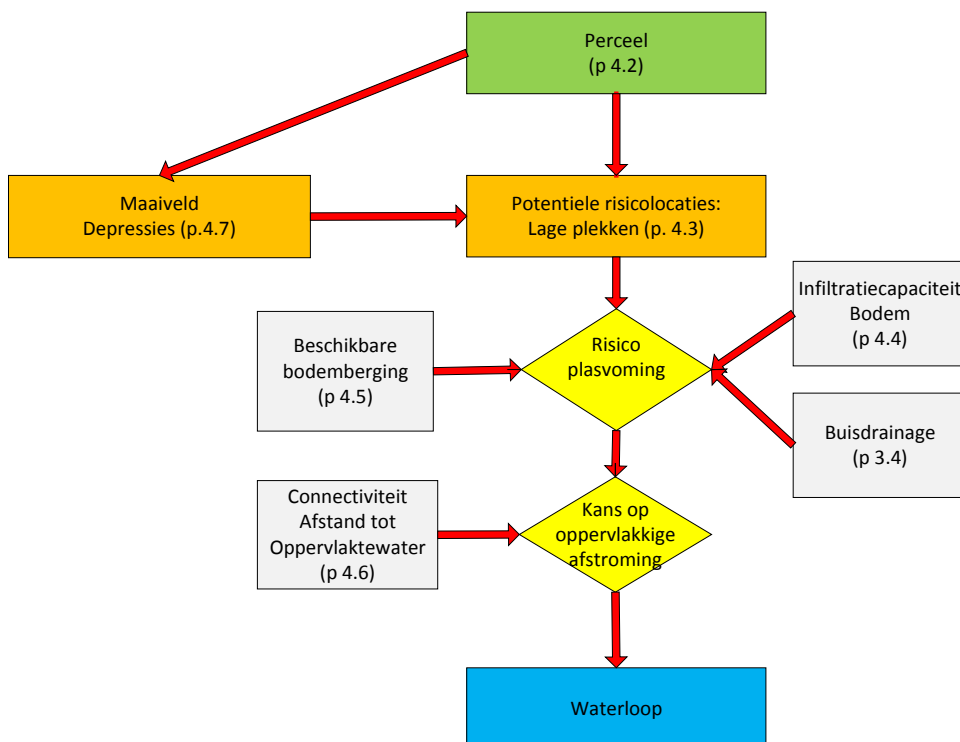
Plassen op het land en als gevolg daarvan oppervlakkige afstroming kunnen ontstaan door:

- Overschrijding van de bodemberging bij hoge grondwaterstanden.
- Overschrijding van de infiltratiecapaciteit door hoge neerslagintensiteit.

Ter plaatse van de laagste plekken in het perceel zijn de hoogste grondwaterstanden te verwachten, terwijl de overschrijding van de infiltratiecapaciteit niet direct is gebonden aan een hoge of lage locatie maar meer wordt veroorzaakt door beperking van (onverzadigde) doorlatendheid. Daarnaast kunnen ondiepe weerstandbiedende lagen tijdelijke schijnspiegels veroorzaken die eveneens kunnen leiden tot plassen op het land. Uiteindelijk is het belangrijk of het water dat zich op het maaiveld manifesteert ook tot afvoer komt naar het oppervlaktewater en daarmee een bijdrage levert aan de belasting van het oppervlaktewater.

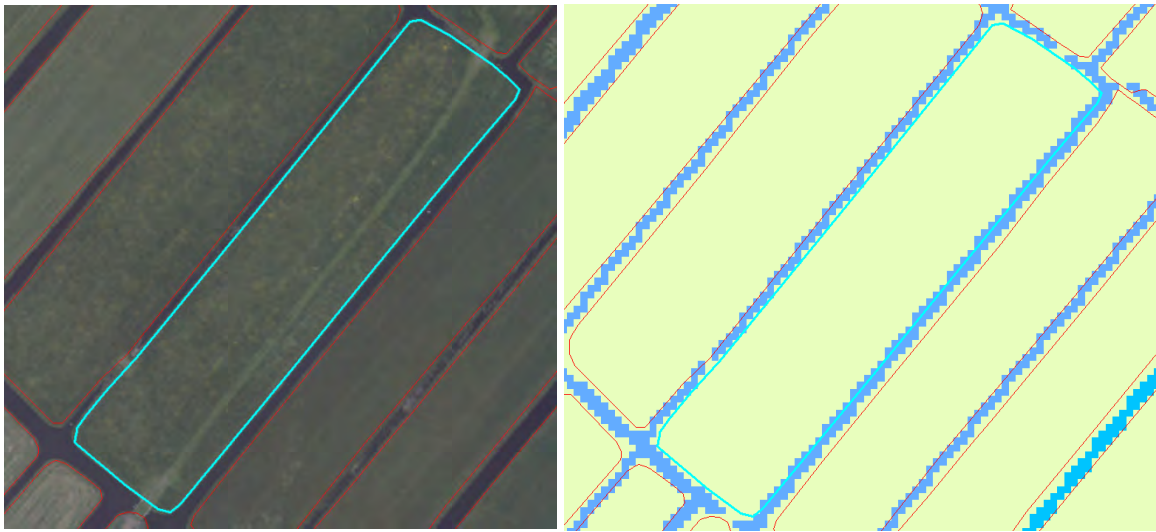
Het maaiveld zelf is ook een drainagemiddel, door verschil in maaiveldhoogte kunnen lagere delen die afvoeren over maaiveld hogere delen draineren. Op het maaiveld kunnen afvoerloze laagten (depressies/sinks) voorkomen, waarin een hoeveelheid water kan worden geborgen. Bij overschrijding van de laagste drempel zullen deze laagten overstromen naar lagere maaivelddelen of aangrenzende waterlopen.

Voor het in kaart brengen van plassen, c.q. potentiële risicolocaties zijn meerdere kaarten gemaakt (Figuur 4.1), deze kaarten kunnen worden gebruikt bij de beoordeling van het risico op belasting van het oppervlaktewater.



Figuur 4.1 Schema werkwijze met aanduiding bijbehorende paragraaf.

De methode om plassen in kaart te brengen wordt in de volgende paragrafen toegelicht aan de hand van één voorbeeldperceel, het blauwomrande perceel in Figuur 4.2. Dit betreft een graslandperceel gelegen tussen Wassenaar, Leiden en Voorschoten (coördinaten 90060,461400). Het perceel is geheel omgeven door waterlopen (Figuur 4.2 rechts).



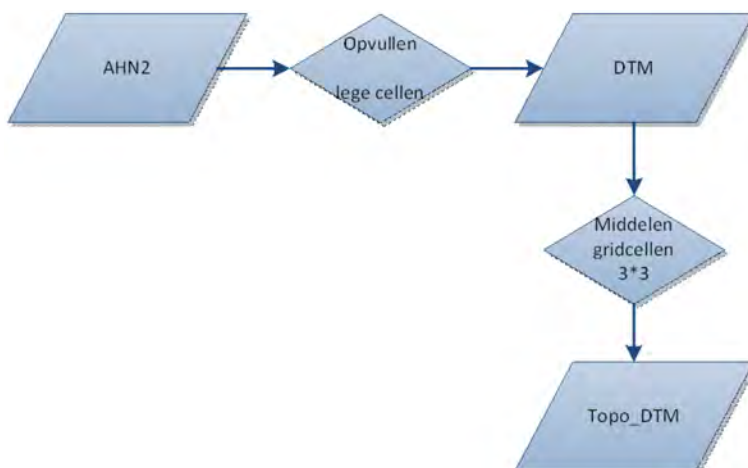
Figuur 4.2 Voorbeeldperceel, luchtfoto (links) en topografie (rechts)

4.2 Basisbestanden

4.2.1 Voorbewerking hoogtebestand

Het basishoogtebestand dat wordt gebruikt in deze studie is het AHN2 met een resolutie van $0,5 \times 0,5 \text{ m}^2$. Dit bestand bevat een beperkt aantal gridcellen zonder hoogte informatie. Voor afleiding van maaivelddepressies en lage plekken is een volledig vlakdekkend bestand noodzakelijk. Voor de opvulling van ontbrekende hoogtewaarden voor gridcellen is gebruik gemaakt van informatie van de omliggende gridcellen, hierdoor ontstaat een digitaal terrein model (DTM) (Bron: Henk Kramer).

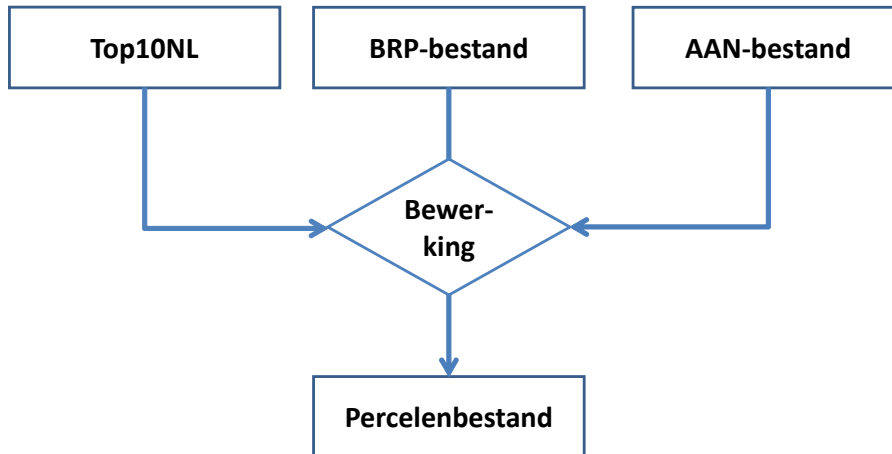
Om het effect als gevolg van grondbewerking (microreliëf, dynamisch) te reduceren heeft een afvlakking plaatsgevonden door middeling van een aantal cellen (focal mean 3×3 gridcellen), anders zou een toevallige grondbewerking vlak voor de waarneming (dynamiek) te veel invloed uitoefenen op de beoordeling van het meer stabiele mesoreliëf, dat we als basis voor de analyse willen gebruiken. Deze bewerking geeft een nieuw hoogtergnet met een resolutie van $0,5 \times 0,5 \text{ m}$ (Topo_DTM), dit resulterende hoogtebestand is gebruikt voor de verdere bewerkingen.



Figuur 4.3 Bewerking van het AHN2 tot DTM.

4.2.2 Percelenbestand

Het Top10NL-bestand is als uitgangbestand gebruikt, dit is een nauwkeurig bestand en wordt voor veel toepassingen gebruikt. Het TOP10NL-bestand onderscheidt relatief weinig landgebruiksvormen, voornamelijk grasland en akkerland en onderscheidt geen gebruikspcelen van de boer. Het BRP-bestand geeft een opsplitsing in gebruikspcelen en onderscheidt meer landgebruiksvormen, maar is minder nauwkeurig met betrekking tot de exacte begrenzing van de pcelen omdat door subsidieverlening het areaal soms te groot is opgegeven. Bovendien worden de waterlopen grotendeels als lijnen zonder breedte aangegeven. De AAN-pcelen bevatten informatie over de breedte van waterlopen.



Figuur 4.4 Schematisatie werkwijze afleiding pcelenbestand.

Bij de samenstelling van het pcelenbestand (Figuur 4.4) zijn de BRP-pcelen eerst toegekend aan TOP10-pcelen, waarbij de TOP10-begrenzing leidend was. Een TOP10-pceel kan overeenkomen met één BRP-pceel, maar kan ook bestaan uit meerdere BRP-pcelen, in dat geval wordt het TOP10-pceel opgesplitst. Ook komt het voor dat een TOP10-pceel slechts gedeeltelijk door BRP-pcelen is belegd, ook in dat geval wordt het TOP10-pceel opgesplitst. Delen van BRP-pcelen die buiten het TOP10-pceel vallen zijn verwijderd. In de volgende stap zijn de wegen en waterlopen uit het AAN-bestand gebruik om de TOP10-pcelen correct te begrenzen. Dit zijn wegen en waterlopen die als lijnelementen zijn opgenomen in het TOP10-bestand, maar in het AAN-bestand als vlakken zijn uitgekarteerd. Het eindresultaat (Figuur 4.5) is een pcelenbestand dat geschikt is voor verdere verwerking.



Figuur 4.5 Luchtfoto met ligging percelen (gearceerd) na bewerking, de groene lijnen geven de begrenzing van de TOP10-percelen, de blauwe lijnen de begrenzing van de AAN-percelen en de witte lijn geeft de verdere opsplitsing op basis van BRP-perceelsindeling.

4.2.3 Waterlopenbestand

De waterlopendvlakken en waterlopenlijnen uit de TOP10NL zijn gebruikt om water in kaart te brengen. Om de sloten en greppels die als lijnen in TOP10NL zijn opgenomen om te zetten in watervlakken zijn deze eerst met een breedte van 6,5 m gebufferd. Deze breedte is aangenomen als maximum omdat lijnvormige sloot-objecten in TOP10NL tot die breedte als lijn op de kaart worden gezet. De Topografische kaart heeft bovendien nog een inherente onnauwkeurigheid van ca. 5 m waardoor sloten vaak niet exact op de goede plek liggen. De afstand van 6.5 m is een pragmatische keuze om ook voor deze mogelijke onnauwkeurigheid te corrigeren en als de sloot 5 m naast de eigenlijke ligging is gesitueerd, kun je met 6.5 m precies die onnauwkeurigheid overbruggen. Het teveel aan gebufferde breedte is vervolgens weer verwijderd als het samenvalt met een AAN-perceel. Bij Top10-objecten zoals wegen en overig bodemgebruik die geen AAN-perceel zijn is de buffer compleet genegeerd en komt er slechts een 0.5 m sloot/greppel object voor in de plaats door de lijnen van Top10NL op 0.5 m te verrasteren zonder enige buffer. De lijnvormige sloten met een aangenomen maximale breedte van 6.5 m betreffen dus uitsluitend landbouwsloten in Nederland die aan een AAN-perceel grenzen. Het waterlopenbestand, bestaande uit watervlakken en waterlijnen, met een aangenomen en vervolgens gecorrigeerde breedte, is daarna omgezet in een gridbestand met resolutie van 0.5 m voor heel Nederland. De in vlakken omgezette lijnvormige waterlopen in combinatie met de waterlopendvlakken uit de TOP10NL worden gebruikt voor de bepaling van de connectiviteit (paragraaf 4.6).

In Figuur 4.6 is een voorbeeld gegeven van het waterlopen bestand.

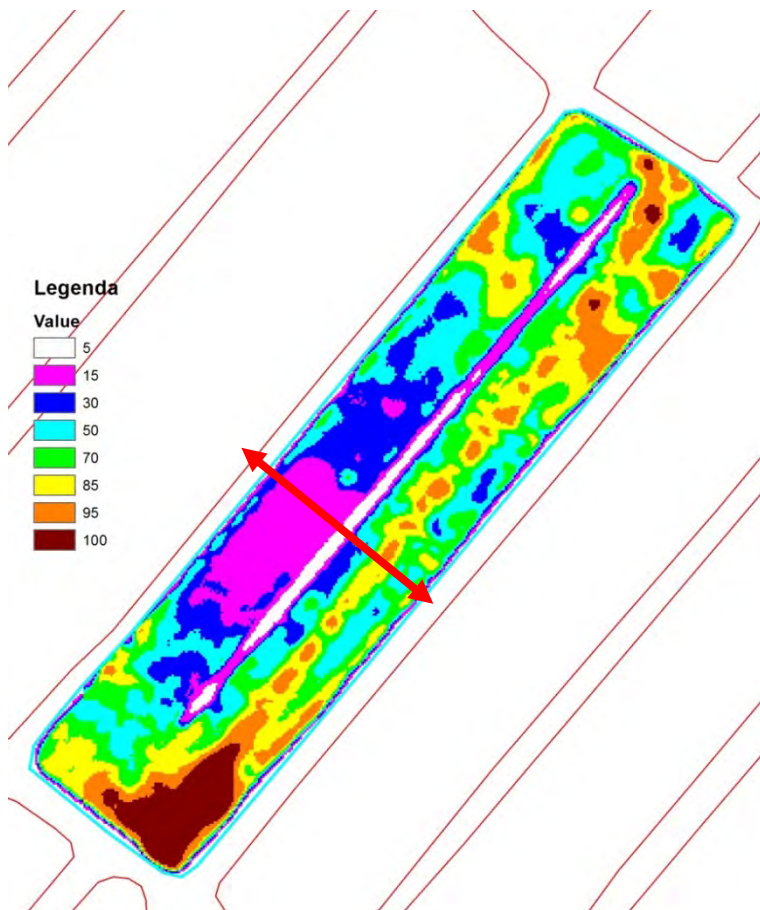


Figuur 4.6 Luchtfoto met daarop geprojecteerd de lijnvormige en vlakvormige waterlopen uit de TOP10 en de uit de lijnvormige waterlopen afgeleide AAN-waterlopen die aansluiten op de AAN-percelen.

4.3 Bepaling lage plekken

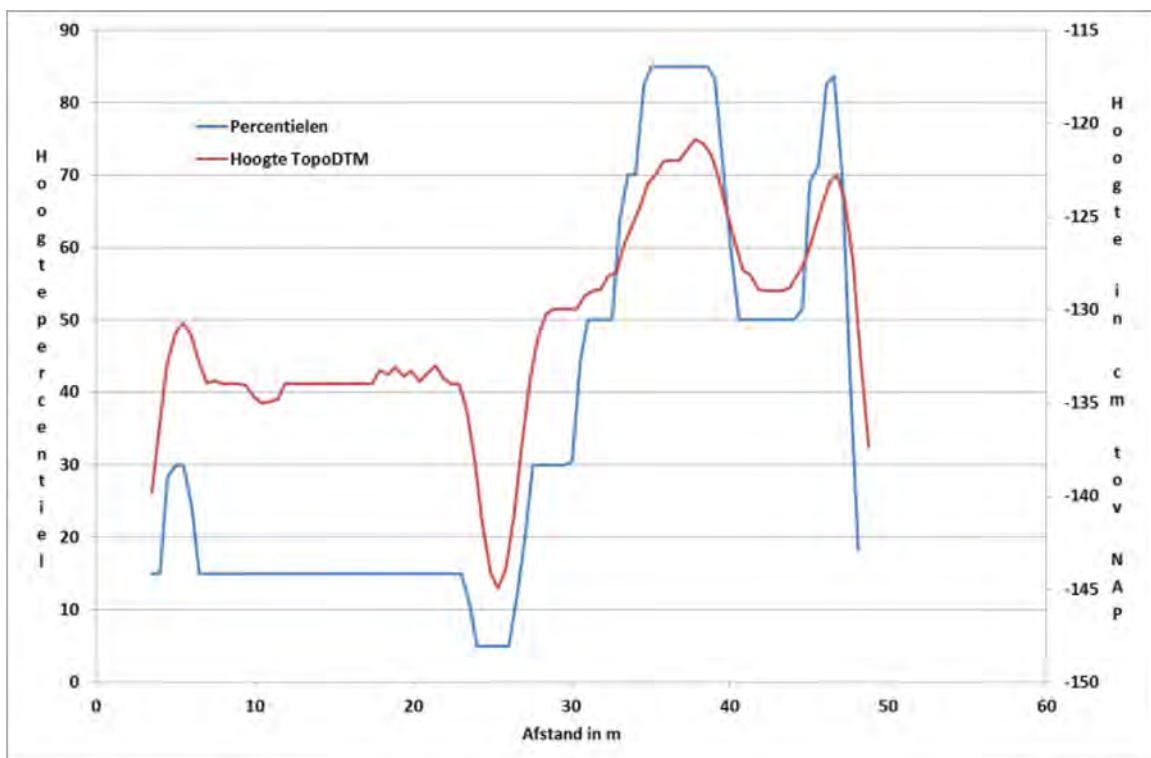
Plassen op maaiveld, die ontstaan doordat de grondwaterstand is gestegen tot in maaiveld, doen zich voor op de laagste plekken van het perceel. Hierbij nemen we aan dat de grondwaterstand een horizontaal verloop vertoont. In werkelijkheid is in natte perioden met neerslagoverschot sprake van een opbolling tussen twee waterlopen. Hierdoor wordt het afspoelingsrisico aan de randen van percelen wat overschat en in het midden wat onderschat. De procedure om de lage plekken in beeld te brengen zal aan de hand van een voorbeeldperceel worden toegelicht (Figuur 4.2).

Voor elk perceel is een clip gemaakt van Topo_DTM 0.5*0.5 m². Op basis van arealen en hoogtecijfers zijn enkele kenmerkende maaiveldhoogten van het perceel vastgesteld. Als eerste stap zijn de minimale en maximale maaiveldhoogten bepaald. Vervolgens zijn via een Tabelbewerking de maaiveldhoogten binnen het perceel gesorteerd naar hoogte en is daarna op basis van het areaal de 5%, 15%, 30%, 50%, 70%, 85% en 95% maaiveldhoogte bepaald. De resultaten kunnen ruimtelijk, in Tabel en grafiek worden weergegeven in Figuur 4.7, 4.8 en Tabel 4.1.



Figuur 4.7 *Percentielen hoogteverdeling binnen het perceel met ligging dwarsraai*

In de hoogteverdeling is een laagte zichtbaar in het midden van het perceel, die lijkt op een maaiveldgreppel, deze greppel is op de luchtfoto (Figuur 4.2) niet goed zichtbaar. Ten zuidoosten van de greppel ligt een langwerpige hoogte, deze hoogte komt ongeveer overeen met de rijroute (zie Figuur 4.2) over het perceel. Ten noordwesten van de greppel ligt een lager gebied (paars gebied). In Figuur 4.7 is ook een dwarsraai aangegeven. In Figuur 4.8 is ter vergelijking de hoogteverdeling volgens het Topo_DTM weergegeven zowel in cm ten opzichte van NAP als in percentielen.



Figuur 4.8 Hoogteverdeling in een dwarsraai volgens Topo_DTM en na opsplitsing in percentielen in dwarsraai Figuur 4.7.

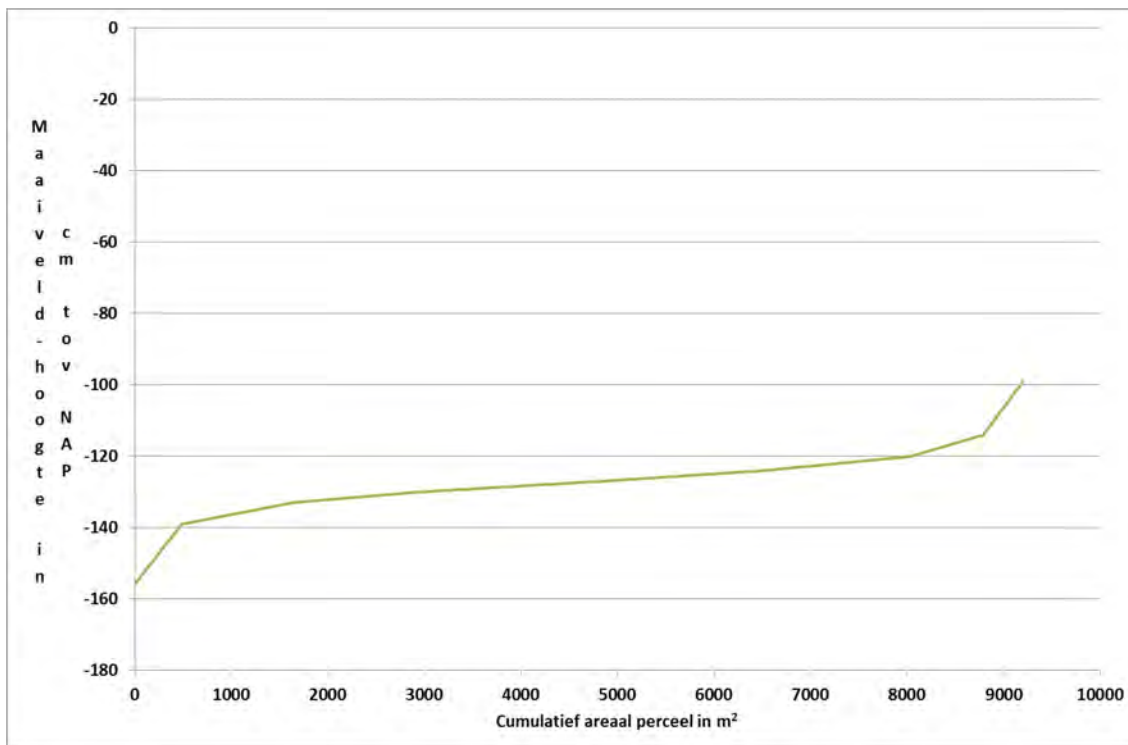
Uit Figuur 4.8 blijkt dat de vorm van de hoogteverdeling goed overeenkomt met de percentielen. Duidelijk is te zien dat er precies in het midden van het perceel een maaiveld greppel ligt, deze is ca. 10 cm diep en ongeveer 4 m breed op de insteek.

Tabel 4.1

Hoogtekaracteristieken van het voorbeeldperceel.

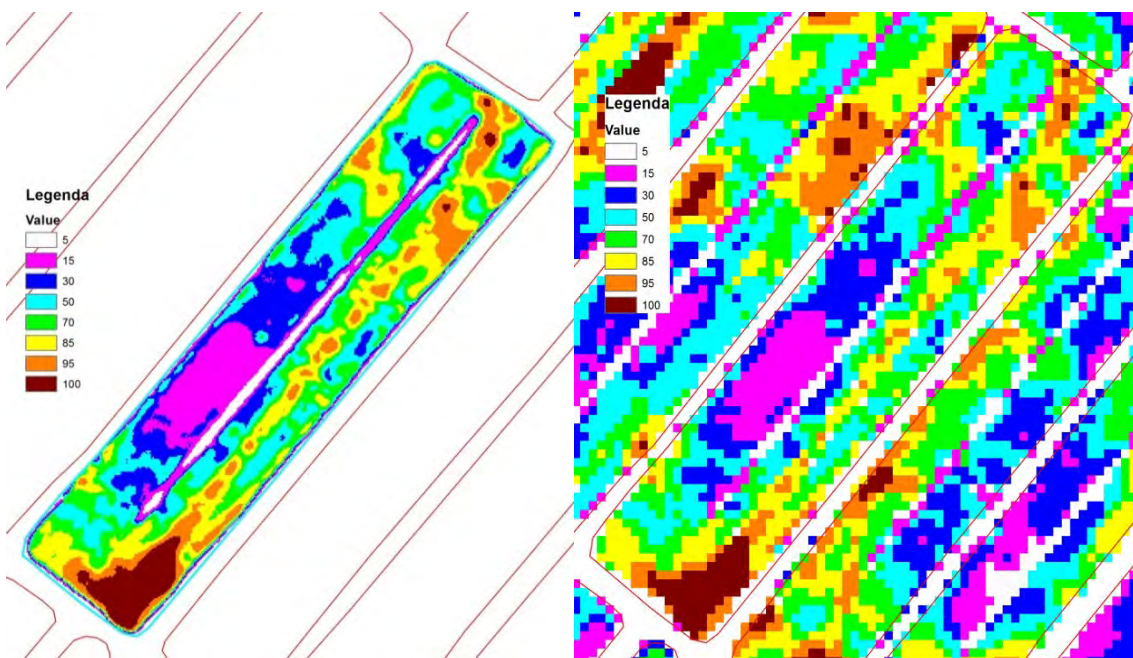
Percentielen	Hoogte	grids	Areaal m2	Areaal m2 cumulatief
Zmin	-156			0
5	-139	1945	486.25	486.25
15	-133	4634	1158.5	1644.75
30	-130	5113	1278.25	2923
50	-127	7754	1938.5	4861.5
70	-124	6606	1651.5	6513
85	-120	6063	1515.75	8028.75
95	-114	3040	760	8788.75
Zmax	-99	1662	415.5	9204.25

Uit Tabel 4.1 kunnen we afleiden dat de maaiveldhoogte varieert tussen -156 en -99 cm -NAP, een bereik van 57 cm. In Figuur 4.9 is Tabel 4.1 grafisch weergegeven. Verder blijkt dat 70% van het maaiveldoppervlak slechts varieert tussen een hoogte van -133 en -120 cm ten opzichte van NAP.



Figuur 4.9 Hypsometrische verdeling van de maaiveldhoogte van het voorbeeldperceel.

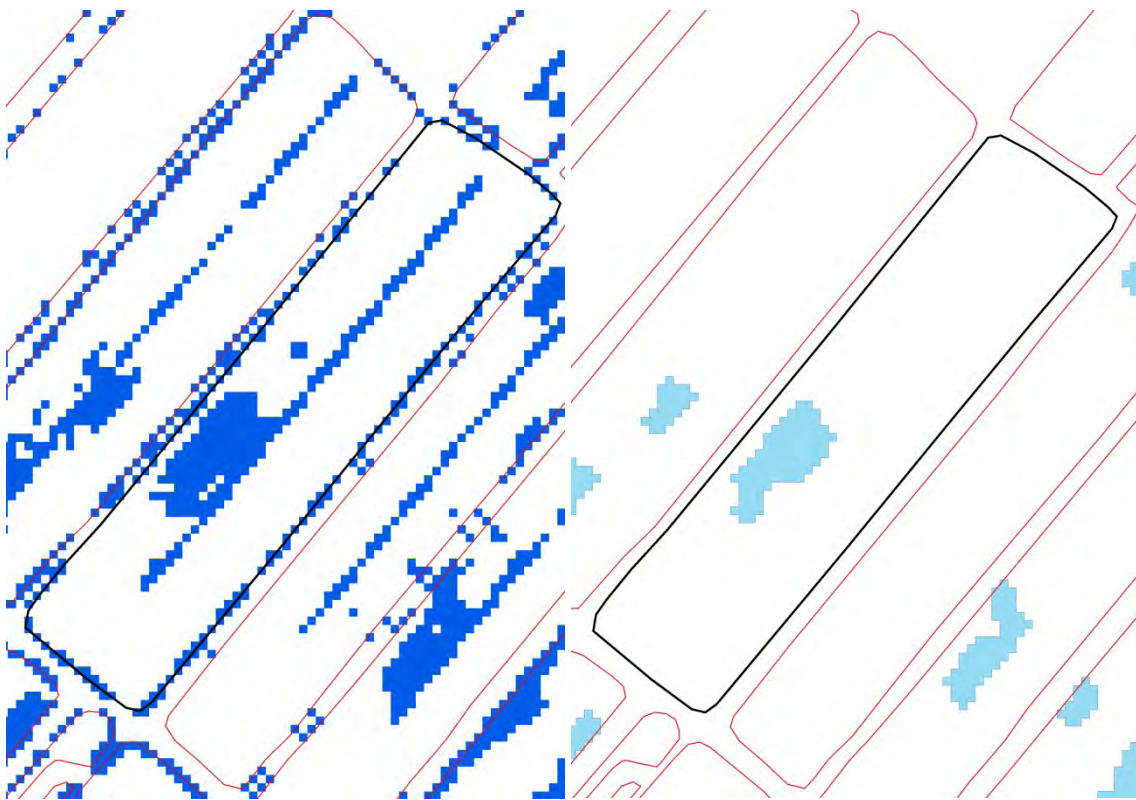
Het resulterende landdekkende percentielenbestand is groot (ca. 300 GB) en daardoor lastig hanteerbaar bij analyse. Daarom is het bestand omgezet in een grid met resolutie van 2,5 m (Figuur 4.10) op basis van het percentiel met grootste oppervlakte aandeel.



Figuur 4.10 Omzetting van percentielengrid met resolutie 0,5 m (links) naar percentielengrid met resolutie 2,5 m (rechts)

Bij de omzetting zien we dat de grote structuren gehandhaafd blijven, terwijl kleinere structuren kunnen verdwijnen.

Vervolgens zijn de lage plekken per perceel bepaald, door alle grids lager dan het 15%-percentiel te selecteren. Bij een normale verdeling van de maaiveldhoogten binnen een perceel komt het 15%-percentiel bij benadering overeen met de gemiddelde maaiveldhoogte $- 1 * \text{de standaarddeviatie van de maaiveldhoogte}$. De keuze voor het 15%-percentiel is willekeurig. Deze bewerking is uitgevoerd op het grid met een resolutie van 0,5 m. Bij deze selectie zitten ook vele kleine geïsoleerde lage plekken bestaande uit één of enkele gridcellen. Om het aantal lage plekken hanteerbaar te houden en omdat we, bijvoorbeeld bij het nemen van maatregelen als dammetjes, vooral geïnteresseerd zijn in grotere lagere plekken zijn enkele bewerkingen uitgevoerd om deze kleine lage plekken te isoleren. Door middel van verkleinen (shrink) en vervolgens vergroten (expand) van de lage plekken verdwijnen kleine lage plekken, deze bewerkingen hebben als nadelig effect dat ook langwerpige smalle structuren, zoals maaiveldgreppels (Figuur 4.11) verdwijnen.



Figuur 4.11 Resterende lage plekken na bewerking om kleine vlakken te verwijderen.

De resterende lage plekken worden vervolgens als vlakken weggeschreven naar een shapefile. Voor elk perceel kunnen dus meerdere lage plekken resterend (Figuur 4.11, links in de rechter figuur), waarvan de ligging bekend is.

4.4 Infiltratiecapaciteit

In paragraaf 2.1 is het infiltratieproces beschreven. In paragraaf 3.4.3 zijn enkele gemeten waarden voor de infiltratiesnelheid afkomstig uit veldonderzoek gegeven. Een belangrijke parameter bij infiltratie is de infiltratiecapaciteit, deze heeft een relatie met de verzadigde doorlatendheid. Door ingesloten lucht en door verslemping is deze veelal lager dan de gemeten k_{sat} waarde.

De BOFEK2012 kaart onderscheidt 72 bodemprofielen, waarvoor de bodemschematisatie (laagindeling) bekend is. De grootte van de infiltratiecapaciteit wordt vooral door de bovenste horizont bepaald. De bovenste horizont van deze 72 bodemprofielen bestaat uit 18 verschillende bodemfysische bouwstenen. In Tabel 4.2 zijn deze 18 bodemfysische bouwsteen uit de Staringreeks gegeven. Aan deze bouwstenen zijn de k_{sat} waarden volgens Wösten (1987, 1994 en 2001) toegekend, die onderling verschillen doordat er in de loop der tijd meer meetgegevens beschikbaar zijn gekomen. Hierdoor varieert het aantal beschikbare waarden voor de k_{sat} van één tot drie. Voor de

schatting van de infiltratiecapaciteit is uitgegaan van de laagste k_{sat} -schatting, meestal overeenkomend met Wösten (2001). Voor de uiteindelijke bepaling van de infiltratiecapaciteit is deze k_{sat} gereduceerd om rekening te houden met luchtinsluiting en verslemping. Door Hendriks (in Jansen *et al.*, 2013) zijn voor enkele bouwstenen reductiefactoren gegeven, voor de overige bouwstenen zijn voor deze studie de reductiefactoren geschat op basis van hun omschrijving en de gegeven reductiefactoren volgens Hendriks.

Tabel 4.2

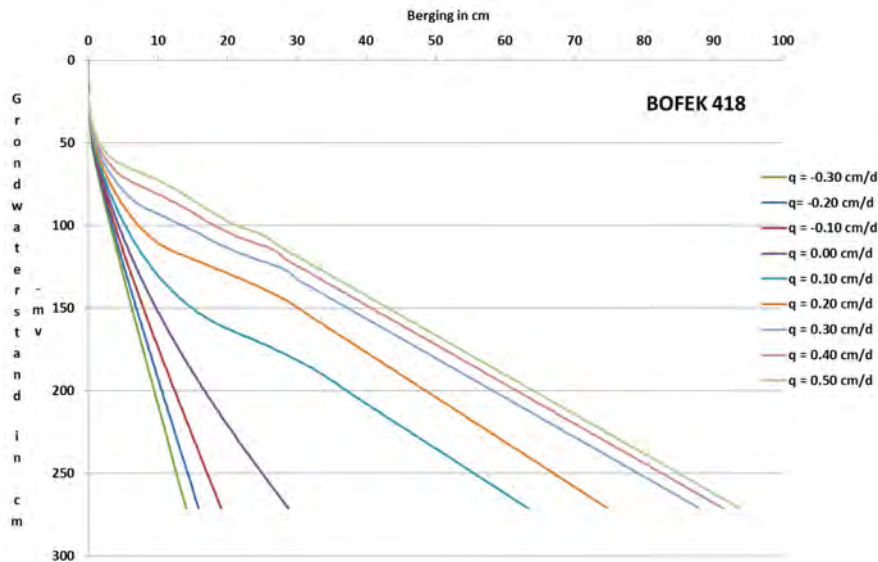
Inschatting infiltratiecapaciteit op basis van k_{sat} waarde voor bovenste bouwstenen van de BOFEK2012-profielen.

Bouwsteen	Staringreeks	Aantal	Ksat Staringreeks in cm/d			Reductie-factor	Infiltratie capaciteit mm/d
			1987	1994	2001		
B1		4	33.34	17.46	23.41	0.72 ¹	125.7
B2		10	32.21	9.56	12.52	0.76 ¹	72.7
B3		7	17.81	17.81	15.42	0.68 ¹	104.9
B5		3			52.91	0.72 ²	381.0
B6		1			100.69	0.4 ²	402.8
B8		9	22.91	2.25	2.36	0.54 ¹	12.2
B9		11		1.54	1.54	0.4 ²	6.2
B10		5	31.09	1.17	0.7	0.4 ¹	2.8
B11		4	63.59	5.26	4.53	0.12 ¹	5.4
B12		1	98.18	15.46	5.37	0.05 ¹	2.7
B13		3			12.98	0.4 ²	51.9
B14		1		0.8	0.8	0.4 ²	3.2
B15		4			81.28	0.56 ²	455.2
B16		3	13.44	13.44	6.79	0.56 ¹	38.0
B17		4		4.46	4.46	0.21 ²	9.4
B18		1	34.82	6.67	6.67	0.21 ¹	14.0
O5		1	223.2	43.55	25	0.72 ²	180.0
O9		1	24.01	2.23	2.23	0.4 ²	8.9

¹Volgens Hendriks
²Ingeschat op basis omschrijving bouwsteen

4.5 Beschikbare bodemberging

Voor de 72 profielen die in de BOFEK2012 kaart worden onderscheiden zijn voor verschillende grondwaterstanden ten opzichte van maaiveld en voor verschillende waterfluxen, als gevolg van neerslag of capillaire opstijging, door de onverzadigde zone de beschikbare waterberging tussen grondwaterstand en maaiveld berekend. Deze bergingsgetallen zijn opgeslagen in een database. Met het programma Oceanus (Wesseling en Vroon, in druk) kunnen voor combinaties van BOFEK2012-profiel, grondwaterstand ten opzichte van maaiveld en verticale waterflux de beschikbare bodemberging uit de database worden gelezen. Bij wijze van voorbeeld zijn in Figuur 4.12 grondwaterstand-bergingsrelaties weergegeven voor BOFEK2012-profiel 418: Zware zavel, homogeen profiel (marien en fluviaal).



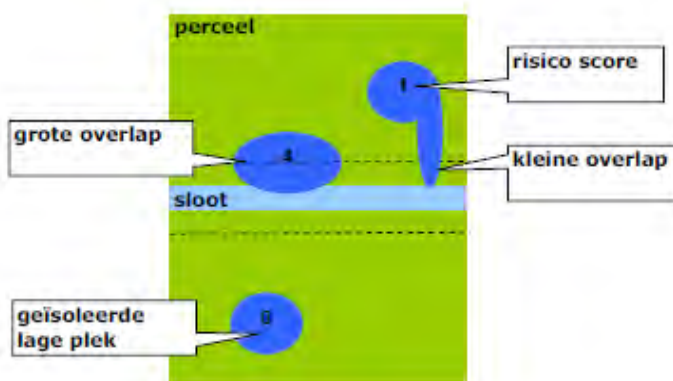
Figuur 4.12 Grondwaterstand-bergingsrelaties bij verschillende verticale fluxen q (cm/d) voor profiel BOFEK418 Zware zavel homogeen profiel. Bijvoorbeeld de berging bedraagt 7 cm bij een grondwaterstand van 150 cm-mv en een neerwaartse flux q van 0.2 cm/d.

Oppervlakkige afvoer treedt hoofdzakelijk op in de winter. In de winter is sprake van een neerslagoverschot, deze bedraagt gemiddeld ca. 2 mm/d. Voor de berekening van de beschikbare bodemberging wordt uitgegaan van de GHG-situatie en een neergaande waterflux van 2 mm/d.

De afgeleide waarden geven mogelijk een overschatting van de bodemberging omdat in de praktijk blijkt dat het effectieve waterbergend vermogen als gevolg van luchtinsluitingen kleiner is en doorgaans de helft tot tweederde van de theoretisch berekende bedraagt (Haans en Van der Sluys, 1966).

4.6 Connectiviteit met het oppervlaktewater

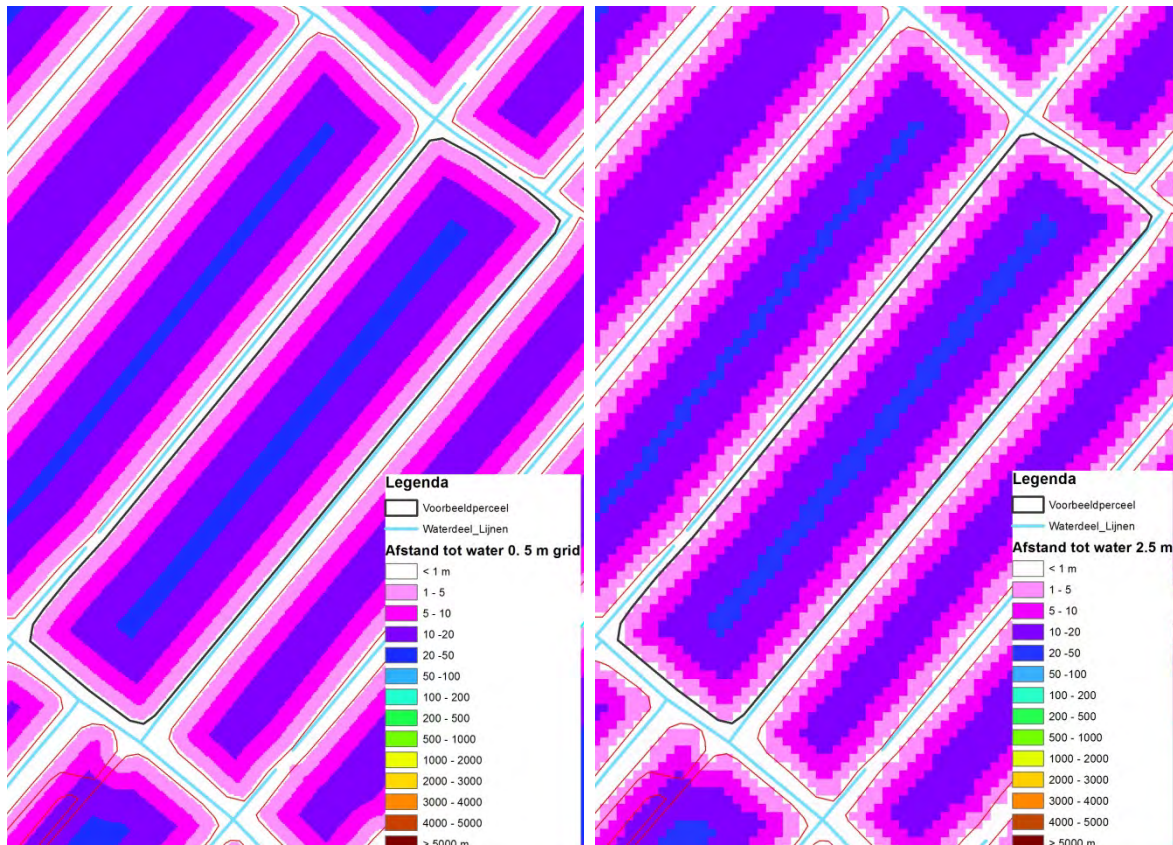
Of een natte plek een risicoplek is voor oppervlakkige afstroming naar het oppervlaktewater wordt onder andere bepaald door de afstand tot het oppervlaktewater en of er verbinding is via een laagte (Figuur 4.13, kleine of grote overlap).



Figuur 4.13 Schematische weergave van het risico voor oppervlakkige afstroming vanaf een perceel naar een waterloop.

Plassen op het land die ver van het oppervlaktewater verwijderd liggen vormen een geringer risico omdat het water veelal slechts via infiltratie in de bodem of verdamping kan worden afgevoerd, terwijl plassen nabij de sloot door het graven van een greppel door de boer of door biologische activiteiten (muizen en mollengangen), gemakkelijk kunnen draineren naar een nabijgelegen watergang.

Om de connectiviteit van de plas met het oppervlaktewater te bepalen is het watergrid (Figuur 4.6) omgezet in een afstandsgrid (detail Figuur 4.14). Hierbij is voor elke gridcel binnen het perceel van het percelenbestand de kortste afstand tot nabijgelegen oppervlaktewater bepaald. Het vaststellen van de afstand is in twee stappen/trajecten uitgevoerd. Tot 250 m uit de sloot is voor gridafstanden van 2,5 m de afstand tot de dichtstbijzijnde waterloop in decimeters bepaald. Voor afstanden groter dan 250 m is voor grids van 25 m de gemiddelde afstand tot het dichtstbij gelegen oppervlaktewater bepaald. Beide grids zijn samengevoegd toe een landelijk gridbestand.

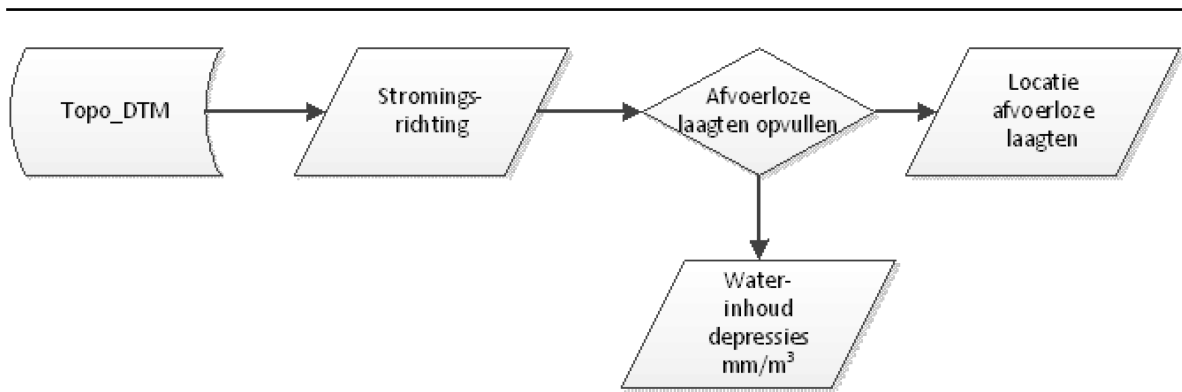


Figuur 4.14 Afstandsgrid met afstanden tot oppervlaktewater, 0,5 m grid (links) en 2,5 m grid (rechts).

Het afstandsgrid kan vervolgens worden gebruikt om voor elke plas op het maaiveld enkele karakteristieken af te leiden, zoals de minimale en de gemiddelde afstand van de plas tot het nabijgelegen oppervlaktewater.

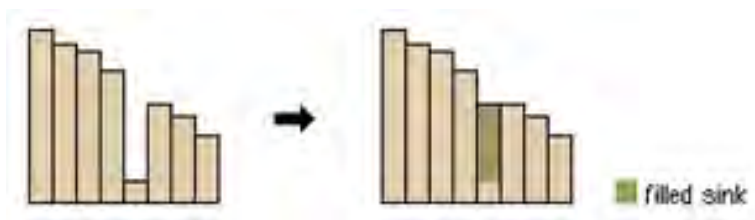
4.7 Maaivelddepressies

Het uit het AHN2 afgeleide en bewerkte Topo_DTM (Figuur 4.3) met een resolutie van $0,5 \times 0,5 \text{ m}^2$ is een basisbestand dat ook kan worden gebruikt om de locatie en de inhoud van afvoerloze laagten of depressies af te leiden. In Figuur 4.15 is de gevolgde procedure schematisch weergegeven. Deze depressies hoeven niet overeen te komen met de laagste plekken uit paragraaf 4.3.



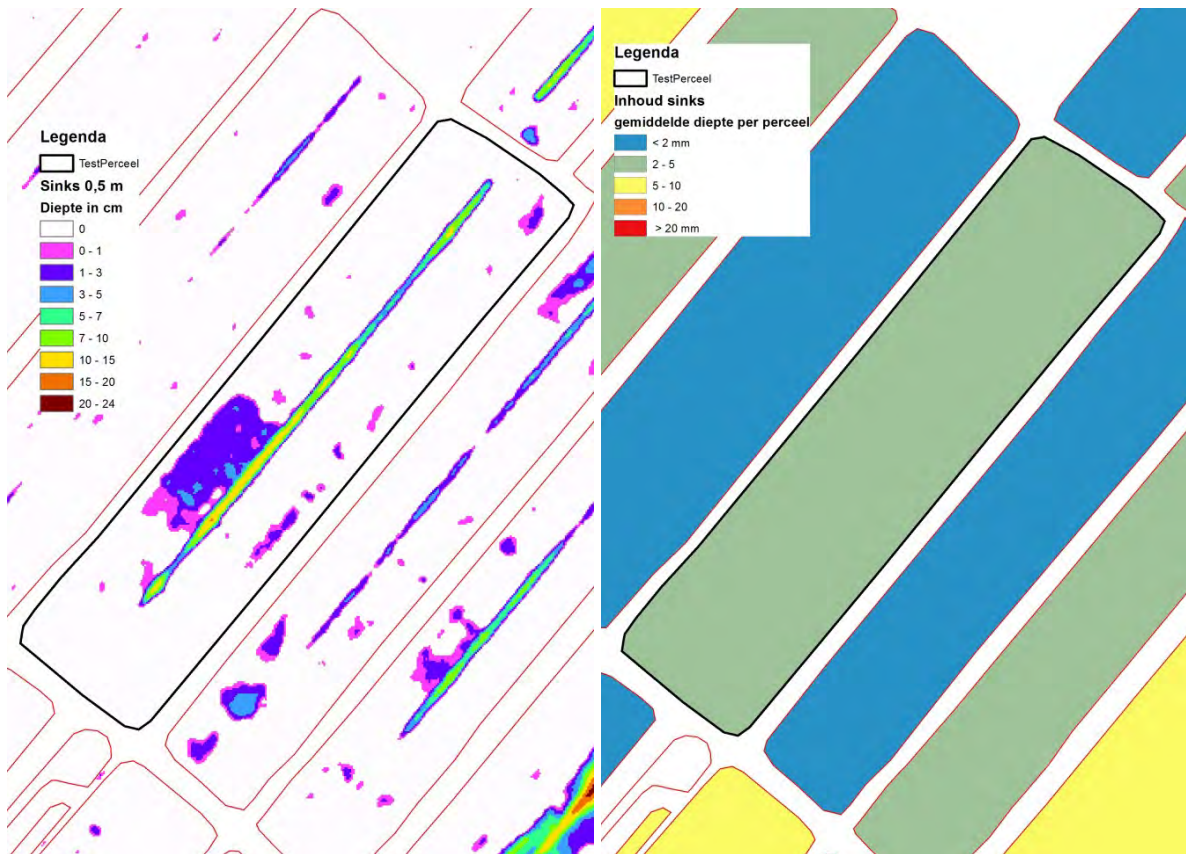
Figuur 4.15 Schematische weergave bepaling maaivelddepressies en uitstroompunten. Voor de oorsprong van Topo_DTM zie ook Figuur 4.3.

Voor het Topo_DTM kan voor elke gridcel de stromingsrichting voor water op het maaiveld vanuit de gridcel worden afgeleid. Dit wordt berekend door de richting met het grootste maaiveldverhang met de omliggende gridcellen te bepalen. Uit het resultaatgrid kan worden afgeleid of er depressies, afvoerloze laagten, in het maaiveld voorkomen. De volgende stap is het opvullen van deze depressie zodanig dat al het water uit het perceel kan worden afgevoerd naar de rand van het perceel. In Figuur 4.16 is schematisch aangegeven hoe deze opvulling plaatsvindt, de opvulling van depressies vindt plaats tot een dusdanige hoogte dat water net uit de depressie kan wegstromen.



Figuur 4.16 Omzetting van DTM in 'depressievrije' DTM (DDTM).

Uit het verschil tussen de DTM en de DDTM kan de bergingscapaciteit van het maaiveld in de depressies worden berekend, in m^3 of mm. Door dit te koppelen aan de percelen is voor elke perceel de bergingscapaciteit op het maaiveld te bepalen. In Figuur 4.17 is de berging in depressies voor het voorbeeldperceel en de directe omgeving weergegeven.



Figuur 4.17 Diepte van maaivelddepressies (links) en gemiddelde maaiveldberging in mm(rechts).

De 15% lage plekken komen voor het voorbeeldperceel goed overeen met de maaivelddepressies in Figuur 4.7. Dit hoeft echter niet altijd het geval te zijn omdat ook binnen hogere gedeelten van een perceel depressies kunnen liggen.

5 Resultaten

Landsdekkende kaarten met resultaten van potentiële plassen zijn lastig te interpreteren, daarom is ervoor gekozen om de resultaten te presenteren aan de hand van enkele kleinere gebieden die als representatief voor heel Nederland kunnen worden beschouwd.

De geselecteerde gebieden zijn:

- Kleigebied
 - Zeekleigebied in Groningen bij Schildwolde-Siddeburen
 - Rivierkleigebied bij Deil
- Veengebied Alblasserwaard (Polder Molenaarsgraaf)
- Zandgebied
 - Achterhoek bij Silvolde
 - Centrale Slenk, Noord-Brabant omgeving Veghel

De afgeleide kaarten zijn dus potentiële plassenkaarten, de kans of plassen werkelijk ontstaan is onder andere afhankelijk of de beschikbare bodemberging en of de infiltratiecapaciteit wordt overschreden. Het gevolg, namelijk belasting van het oppervlaktewater via oppervlakkige afstroming, is onder andere afhankelijk van de afstand tot de sloot (connectiviteit). Door combinatie van kans en gevolg is een kwalitatieve inschatting gemaakt van het risico op oppervlakkige afspoeling.

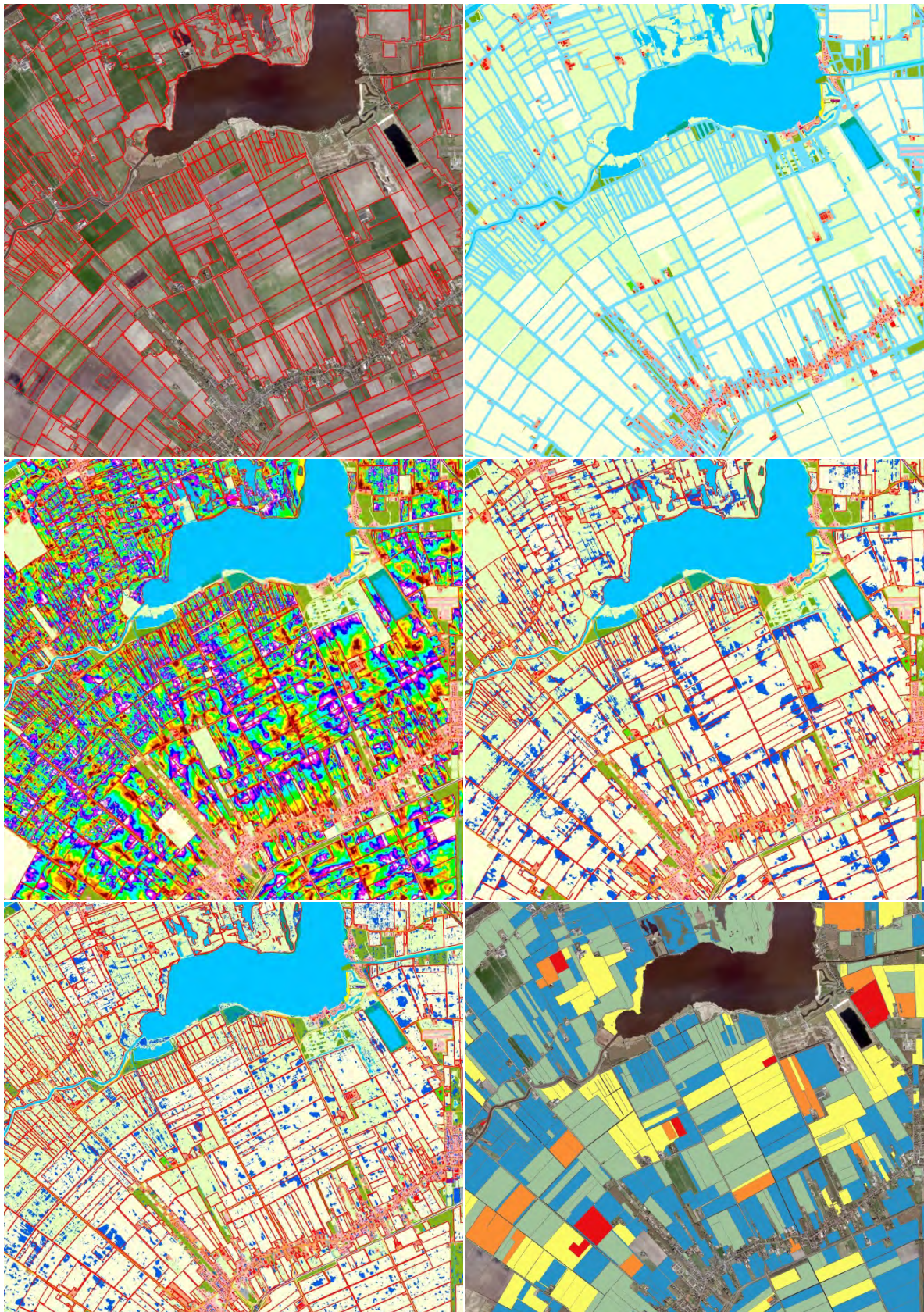
5.1 Potentiële plassen in enkele voorbeeldgebieden

5.1.1 Kleigebied

Zeekleigebied

Als voorbeeld voor het zeekleigebied van Nederland wordt in Figuur 5.1 een detail getoond van de omgeving van Schildwolde-Siddeburen ten zuiden van het Schildmeer in de provincie Groningen.

Het gebied bestaat uit grotere meer blokvormige percelen in het centrum van de kaart, veelal akkerbouw, en lange smalle percelen ten westen en zuiden van het Schildmeer, veelal grasland. De percelen worden vaak door sloten onderling gescheiden. De lage plekken bevinden zich meestal aan de rand van de percelen. Er zijn nauwelijks maaiveldgreppels te onderscheiden. De depressies en de lage plekken komen vaak niet overeen. De maaiveldberging varieert van minder dan 2 mm (blauwe percelen) tot 5-10 mm (gele percelen).



Figuur 5.1 Detail omgeving Schildwolde-Siddeburen, luchtfoto met perceelgrenzen (rood) (linksboven), topografie met waterlopen (rechtsboven), berekende percentielen voor maaiveldhoogte (links midden, voor legenda zie Figuur 4.7), 15% lage plekken (rechts midden), maaivelddepressies (linksonder) en gemiddelde maaiveld berging (rechtsonder, voor legenda zie Figuur 4.16).

Rivierkleigebied

Als tweede voorbeeld voor het kleigebied van Nederland wordt in Figuur 5.2 een detail getoond van het rivierkleigebied in de omgeving van het verkeersplein Deil.

Het gebied bestaat uit twee delen in het zuidelijk deel aan weerszijden van de A15 liggen graslandpercelen (komgebied), in het noordelijk deel langs de Linge liggen vooral fruitpercelen (oeverwal). De percelen worden veelal door sloten onderling gescheiden. De lage plekken liggen in het fruitgebied meestal aan de rand van de percelen, op de graslandpercelen vormen de maaiveldgreppels veelal de lage plekken. De berekende maaiveldberging in de depressies varieert in het fruitgebied tussen < 2mm (donkerblauw) tot 2-5 mm (groen) en in het grasgebied is de maaiveldberging veelal in de orde 10-20 mm (oranje). Omdat dit maaiveldgreppels zijn is deze berging in werkelijkheid niet beschikbaar, deze maaiveldgreppels kunnen meestal via een pijp afwateren op de sloot. De aanwezigheid van deze pijpen volgt niet uit het AHN, de opgevulde greppel voor de sloot wordt als afsluiting van de maaiveldgreppel geïnterpreteerd, in werkelijkheid is er dus geen sprake van maaiveldberging omdat de greppels kunnen afvoeren naar de sloot.

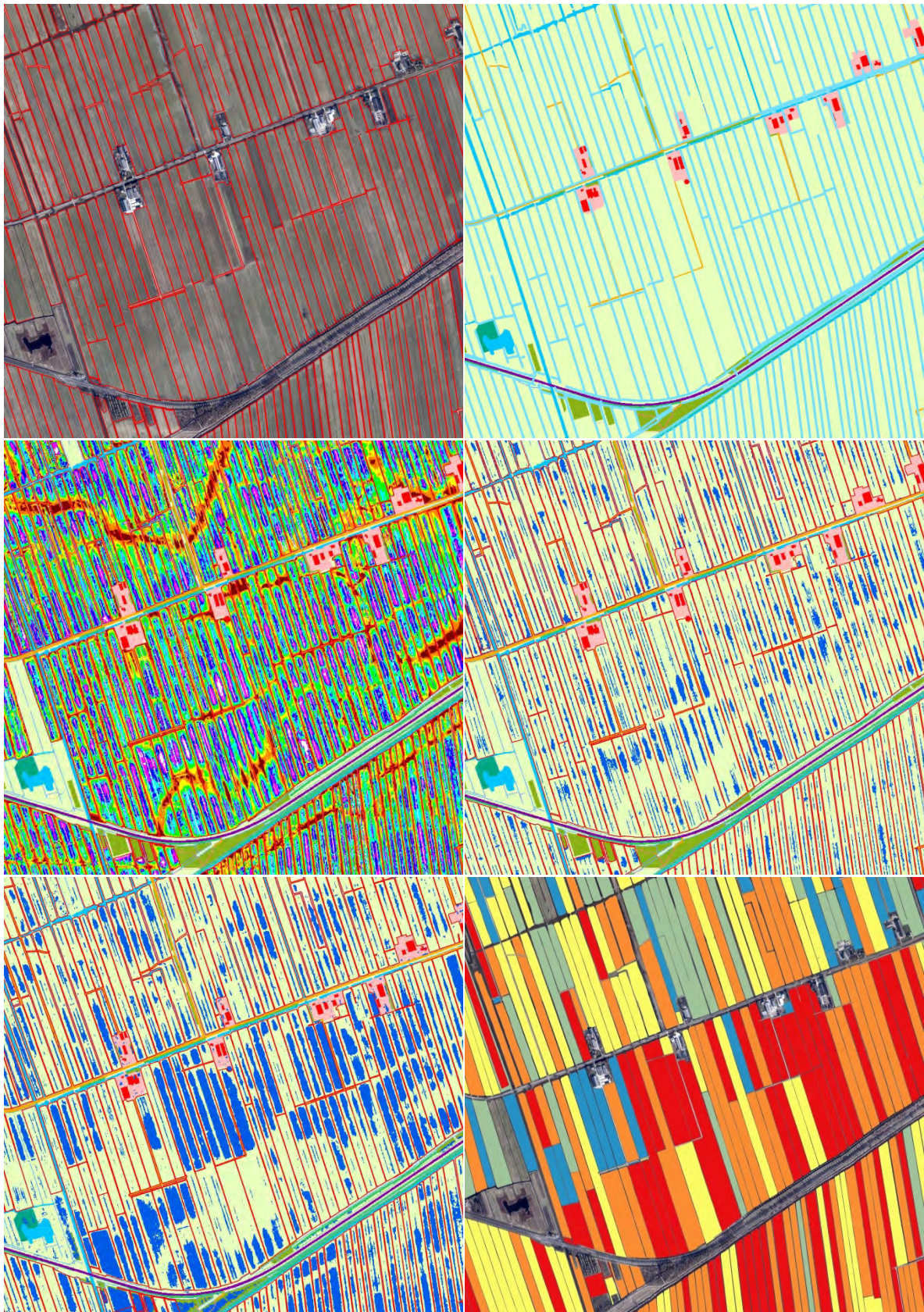


Figuur 5.2 Detail omgeving Deil, luchtfoto met perceelgrenzen (rood) (linksboven), topografie met waterlopen (rechtsboven), berekende percentielen van de maaiveldhoogte (links midden, voor legenda zie Figuur 4.7), 15% lage plekken (rechts midden), maaivelddepressies (linksonder) en gemiddelde maaiveld berging (rechtsonder, voor legenda zie Figuur 4.16)

5.1.2 Veengebied

Als voorbeeld voor een veengebied is een detail van de Alblasserwaard geselecteerd, delen van de polder Zuidzijde-Hofwegen en Ruijbroek en de polder Molenaarsgraaf.

Dit veengebied bestaat voornamelijk uit langgerekte smalle percelen onderling gescheiden door waterlopen. In de percentielenkaart komen enkele hoge ruggen naar voren (Oude rivierlopen?), maar ook laagten. De perceelvorm lijkt overwegend hol, hoog langs de sloot en laag in het midden van het perceel. In sommige percelen liggen meerdere maaiveldgreppels in andere percelen maar één. Door de holle vorm van het perceel is de maaiveldberging in de depressies groot, veelal 10-20 mm (oranje) tot meer dan 20 mm (rood). Omdat het maaiveldgreppels zijn is dit geen werkelijke maaiveldberging omdat de maaiveldgreppels via een ondergrondse pijp afwateren naar de sloot.



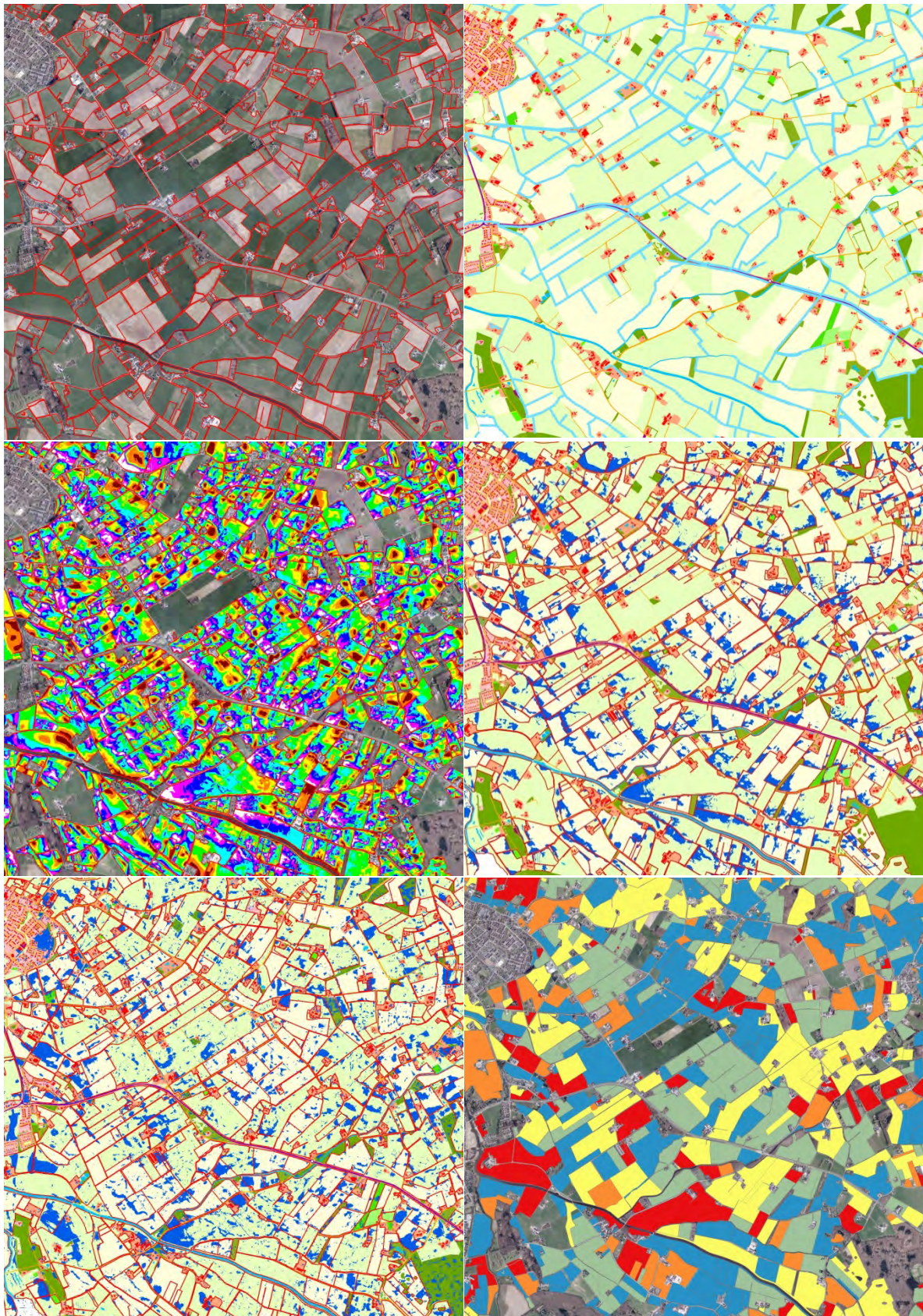
Figuur 5.3 Detail Alblasserwaard, luchtfoto met perceelgrenzen (rood) (linksboven), topografie met waterlopen (rechtsboven), berekende percentielen van de maaiveldhoogte (links midden, voor legenda zie Figuur 4.7), 15% lage plekken (rechts midden), maaivelddepressies (linksonder) en gemiddelde maaiveld berging (rechtsonder, voor legenda zie Figuur 4.16).

5.1.3 Zandgebied

Oostelijk Dekzandgebied

Als eerste voorbeeld voor het zandgebied is een detail van de omgeving van Silvolde nabij de Duitse grens in de Achterhoek geselecteerd (Figuur 5.4).

De percelen zijn gevarieerd van vorm, met afwisselend grasland en akkerbouw. Het is een typisch kampenlandschap met verspreide huisessen. De ondergrond is goed doorlatend, de slootdichtheid is relatief laag. De lage plekken liggen vaak aan de rand van de percelen maar niet altijd. Maaiveldgreppels komen niet voor. De beschikbare maaiveldberging in depressies varieert van gering < 2mm (blauw) tot meer dan 20 mm (rood).

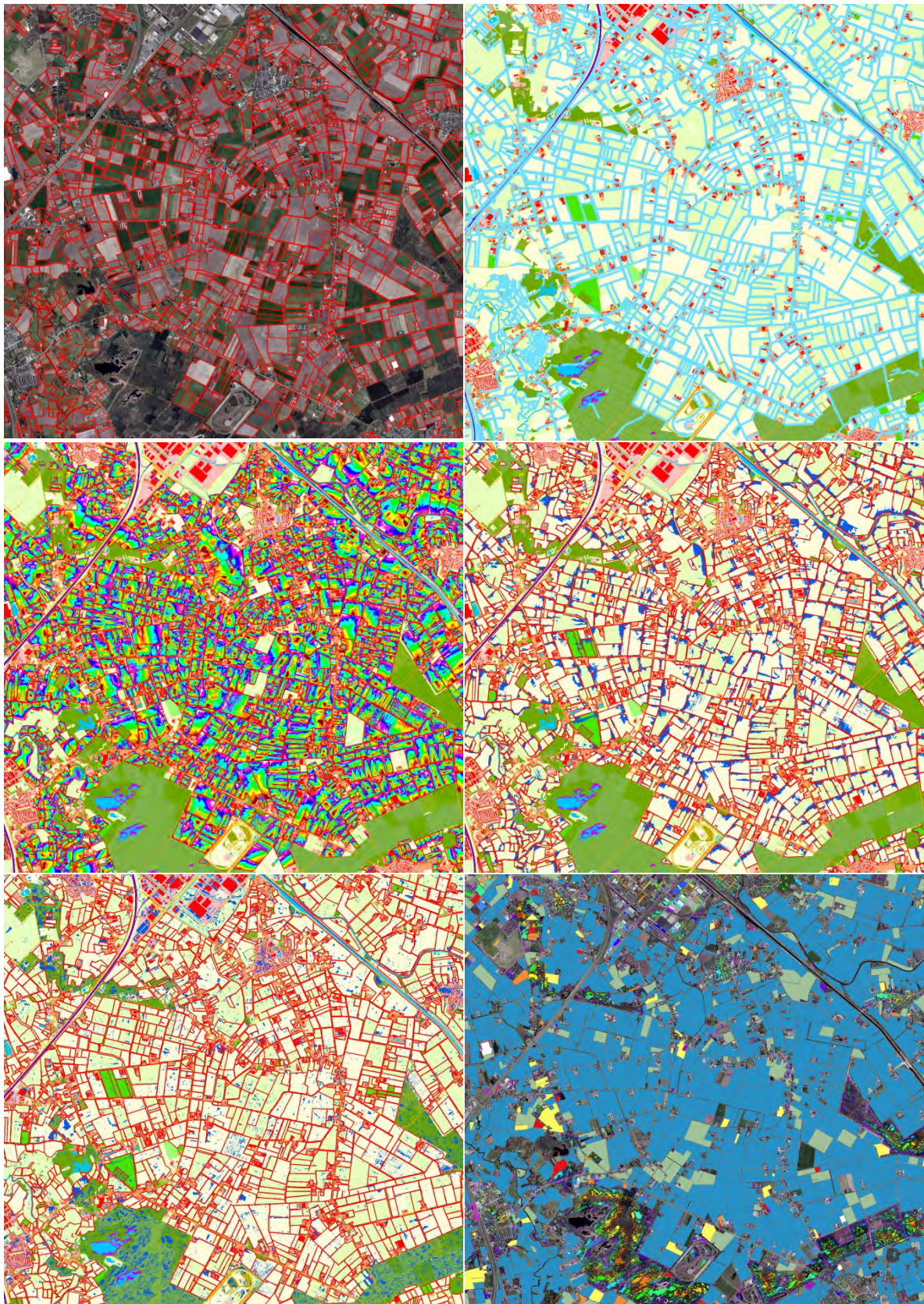


Figuur 5.4 Detail Silvolde, luchtfoto met perceelgrenzen (rood) (linksboven), topografie met waterlopen (rechtsboven), berekende percentielen van de maaiveldhoogten (links midden, voor legenda zie Figuur 4.7), 15% lage plekken (rechts midden), maaivelddepressies (linksonder) en gemiddelde maaiveld berging (rechtsonder, voor legenda zie Figuur 4.16).

Centrale Slenk in Noord Brabant

Als tweede voorbeeld voor het zandgebied is een detail van het gebied ten zuiden van Veghel en ten oosten van Sint Oedenrode geselecteerd (Figuur 5.5).

Het gebied bestaat uit overwegend langwerpige graslandpercelen en blokvormige akkerbouwpercelen. De slootdichtheid is groter dan in het open zandgebied. De lage plekken liggen meestal aan de rand van de percelen, ook komen enkele percelen voor waarin structuren van maaiveldgreppels zichtbaar zijn. In het gebied is maaiveldberging in depressies gering, overwegend kleiner dan 2 mm (blauw).



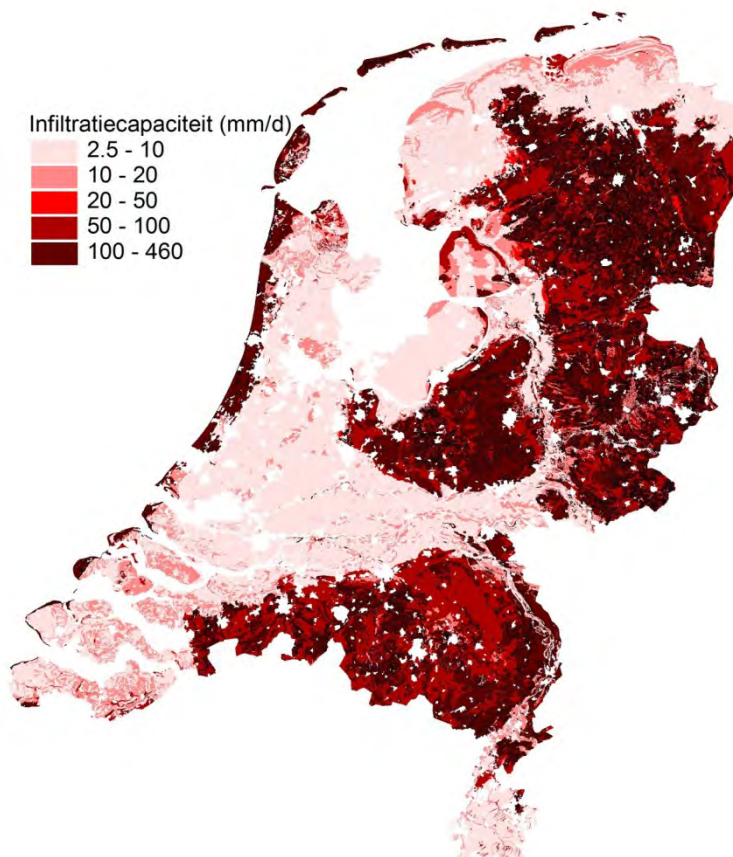
Figuur 5.5 Detail omgeving Veghel, luchtfoto met perceelgrenzen (rood) (linksboven), topografie met waterlopen (rechtsboven), berekende percentielen van de (links midden, voor legenda zie Figuur 4.7), 15% lage plekken (rechts midden), maaivelddepressies (linksonder) en gemiddelde maaiveld berging (rechtsonder, voor legenda zie Figuur 4.16).

5.2 Kans ontstaan van plassen

De kans dat de berekende potentiële plassen overeenkomen met de in het veld waar te nemen plassen kan worden ingeschat door informatie over de infiltratiecapaciteit van de bodem alsmede door informatie over de beschikbare bodemberging te koppelen aan de locatie van de lage plekken.

5.2.1 Overschrijding infiltratiecapaciteit

In Tabel 4.2 is een globale schatting gemaakt van de grootte van de infiltratiecapaciteit. Door de getallen uit Tabel 4.2 te koppelen aan de BOFEK2012-kaart (Figuur 3.4) is kaart 5.6 afgeleid.



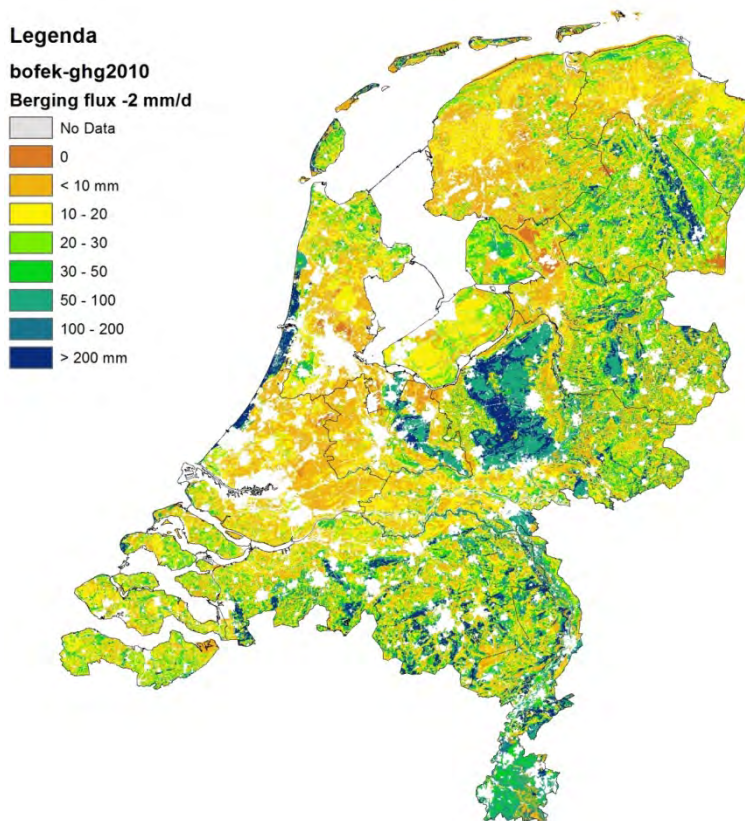
Figuur 5.6 Ruimtelijke inschatting infiltratiecapaciteit

De kleigronden in Zeeland, Groningen, Friesland, IJsselmeerpolders en Rivierengebied samen met de laagveengronden en de lössgronden in Zuid-Limburg hebben de laagste infiltratiecapaciteit, dit zijn dan ook de gronden met het grootste risico voor het optreden van plassen als gevolg van overschrijding van de infiltratiecapaciteit. Kortdurende buien kunnen neerslagintensiteiten van 100 mm/d overschrijden (paragraaf 3.5). Dit betekent dat bij zulke extreme buien ook in grote delen van het zandgebied overschrijding van de infiltratiecapaciteit op kan treden. Alleen in gebieden met goed doorlatende zandgronden, zoals de Veluwe en delen van het zandgebied van oost en zuid Nederland, is de infiltratiecapaciteit zo hoog dat de kans op vorming van plassen door overschrijding van de infiltratiecapaciteit gering is. Voor het voorbeeldperceel (Figuur 4.2) is de bovenste bouwsteen een B17, (venige klei, Tabel 4.2), hiervoor geldt een infiltratiecapaciteit 9,4 mm/d. Op deze gronden is al bij relatief lage neerslagintensiteiten risico voor plasvorming.

5.2.2 Beschikbare bodemberging

Door combinatie van de GHG-kaart (Figuur 3.6) en de BOFEK2012-kaart (Figuur 3.4) is een nieuwe gridkaart met gridgrootte van 25*25 m² gemaakt, voor elke gridcel is de diepte van de

grondwaterstand (GHG) en de BOFEK2012-code bekend. Uit de database met bergingsgetallen is vervolgens voor elke combinatie uit deze kaart de beschikbare bodemberging bepaald en gekoppeld aan de kaart (Figuur 5.7). De beschikbare bodemberging is bepaald bij een neergaande waterflux van 2 mm/d.



Figuur 5.7 Beschikbare bodemberging bij GHG en neergaande waterflux van 2 mm/d in het profiel.

In veengebieden is de beschikbare bodemberging vaak kleiner dan 10 mm, ook in de kleigebieden is de beschikbare bodemberging gering. In het zandgebied varieert de beschikbare bodemberging sterk van klein (<10 mm) tot groot (> 100 mm). Het voorbeeldperceel (Figuur 4.2) betreft een veengrond nl. BOFEK-profiel 105 Kleiig moerige bovengrond of kleidek op oligotroof veen veelal dieper dan 120 cm -mv (Figuur 3.4). De GHG (Figuur 3.6) binnen het perceel varieert tussen 17 en 24 cm -mv, dit geeft een beschikbare bodemberging van 2-4 mm.

De aanwezigheid van buisdrainage vergroot de beschikbare bodemberging door de geringere opbolling tussen de drains als gevolg van de geringere drainageweerstand, ondiepe grondwaterstanden (< 40 cm-mv) komen hierdoor minder voor. Bij vervaardiging van de GHG-kaart is gebruik gemaakt van GT-vlakken uit de bodemkaart die zijn opgenomen in de periode 1960-1990. Voor percelen die na de opname voor de bodemkaart zijn gedraineerd is dit aspect niet meegenomen in de GHG-kaart en daardoor wordt de beschikbare bodemberging mogelijk onderschat. Recent heeft Massop *et al.* (2012) het voorkomen van buisdrainage in beeld gebracht op basis van informatie uit de landbouwmetellingen. Deze kaart kan als aanvullende informatiebron voor beschikbare bodemberging worden gebruikt.

De aanwezigheid van ondiepe storende lagen, zoals ploegvoor, leembandjes en leemlagen etc. kunnen schijngrondwaterspiegels veroorzaken, doordat deze lagen met een geringe doorlatendheid de infiltratie belemmeren. Bij aanwezigheid van schijnspiegels is de beschikbare bodemberging geringer dan in een bodem zonder storende lagen, in deze bodems zal dus eerder plasvorming optreden. Hetzelfde geldt voor percelen die onder te natte omstandigheden zijn bewerkt of geogost waardoor de bodemstructuur is vernield, of percelen die door te zware machines zijn bereiden waardoor de bodem is verdicht en de doorlatendheid is afgenomen.

Risicoanalyse is een methode waarbij risico's worden gekwantificeerd door het bepalen van de kans dat een dreiging, in dit geval het ontstaan van een natte plek, zich voordoet en de gevolgen daarvan. Het gevolg van een natte plek wordt bepaald door de mate van connectiviteit of de plek een risico vormt voor verontreiniging van het oppervlaktewater met nutriënten. Kortweg:

$$\text{Risico} = \text{Kans} * \text{Gevolg}.$$

De afgeleide lage plekkenkaart is een potentiële plassenkaart en bevat een groot aantal 'berekende' lage plekken die sterk verschillen qua vorm en grootte (Figuur 4.11). Het basisbestand is te complex voor de bepaling van de statistieken over afstand tot nabij gelegen oppervlaktewater van alle lage plekken. Om een hanteerbaar bestand te maken is het lage plekkenbestand opgeschoond, hierbij zijn veel losse pixels maar ook de smalle maaiveldgreppels verwijderd. Na opschoning zijn enkele statistieken van de resterende lage plekken, met betrekking tot de afstand tot de sloot, berekend (Tabel 5.1). Daarnaast is uit basisbestand en het opgeschoonde bestand een verschilbestand afgeleid dat voornamelijk bestaat uit maaiveldgreppels, voor dit bestand is aangenomen dat de vlakken direct contact maken met het aangrenzende oppervlaktewater.

Of plassen ontstaan wordt bepaald door de neerslaggebeurtenis, de infiltratiecapaciteit van de bodem, de beschikbare bodemberging en de laterale afvoer. Hoewel er qua neerslagfrequentie en intensiteit verschillen voorkomen binnen Nederland (paragraaf 3.5), wordt deze factor niet als onderscheidend meegenomen. De laterale afvoer is niet verder uitgewerkt (paragraaf 3.4.5). Voor de infiltratiecapaciteit van de bodem (paragraaf 5.2.1) en de beschikbare bodemberging (paragraaf 5.2.2), zijn kaarten afgeleid en deze worden gebruikt om de 'kans' op het optreden van natte plekken in te schatten. Het 'gevolg' van het optreden van natte plekken is in kaart gebracht door de kortste afstand van de natte plek tot nabijgelegen open water mee te nemen (paragraaf 5.3).

Om de kans te kwalificeren is onder andere gekeken naar de statistische eigenschappen van de neerslag. Of er plassen ontstaan bij hoge grondwaterstanden wordt bepaald door de hoeveelheid neerslag en de beschikbare bodemberging, hierbij is uitgegaan van de volgende klassengrenzen voor de kaart met beschikbare bodemberging:

- 10 mm (16-30 keer per jaar valt er 10 mm of meer per dag (klimaatatlas)).
- 20 mm (5 * per jaar valt er 20 mm of meer Tabel 3.3).
- 40 mm (1 * per twee jaar valt er 40 mm of meer Tabel 3.3).

Overschrijding van de infiltratiecapaciteit treedt op bij neerslagen met hoge intensiteit, deze zijn meestal van korte duur. Een bodem kan een bui van 10 mm gelijkmatige verspreid over de dag vaak goed verwerken, valt deze hoeveelheid echter in een korter tijdsbestek, bijvoorbeeld 4 uur, dit komt vijf tot tien keer per jaar voor (Tabel 3.3), dan kan bij bepaalde bodems plasvorming optreden. Voor de infiltratiesnelheid zijn twee klassegrenzen onderscheiden nl. 1 cm/d als relatief slecht doorlatend en 10 cm/d als relatief goed doorlatend.

De afstand tot de sloot bepaalt in belangrijke mate de kans of de natte plek kan overstromen naar aangrenzend oppervlaktewater (Figuur 4.13). Plassen dichtbij een sloot kunnen bij overschrijding van een drempel direct overlopen naar de sloot en vormen een groter risico dan plassen die verder verwijderd liggen van de sloot. Maaiveldgreppels maken via een ondergrondse pijp direct contact met het oppervlaktewater, deze behoren daarmee tot de hoogste risicoklasse, hiermee is rekening gehouden bij keuze van de klassegrenzen. Boeren graven soms sleuven naar de sloot om de natte plek leeg te laten lopen, dit zal eerder gebeuren voor plassen dichtbij de sloot dan voor plassen op grote afstand tot de sloot. Op grond van deze overwegingen zijn drie klassegrenzen gehanteerd, nl.;

- 2 m., plassen grenzen aan de sloot inclusief maaiveldgreppels,
- 10 m., tussenklasse,
- 50 m., afstand om nog afwateringssleuf te graven is relatief groot.

Door weging van 'kans' en 'gevolg' kan vervolgens het 'risico' kwalitatief worden bepaald voor elke lage plek met behulp van Tabel 5.2. Voor het in kaart brengen van het risico is uitgegaan van een schaal van 0-10, hierbij staat 10 voor een hoog risico en 0 voor een laag risico.

Tabel 5.2

Risico voor oppervlakkige afspoeling.

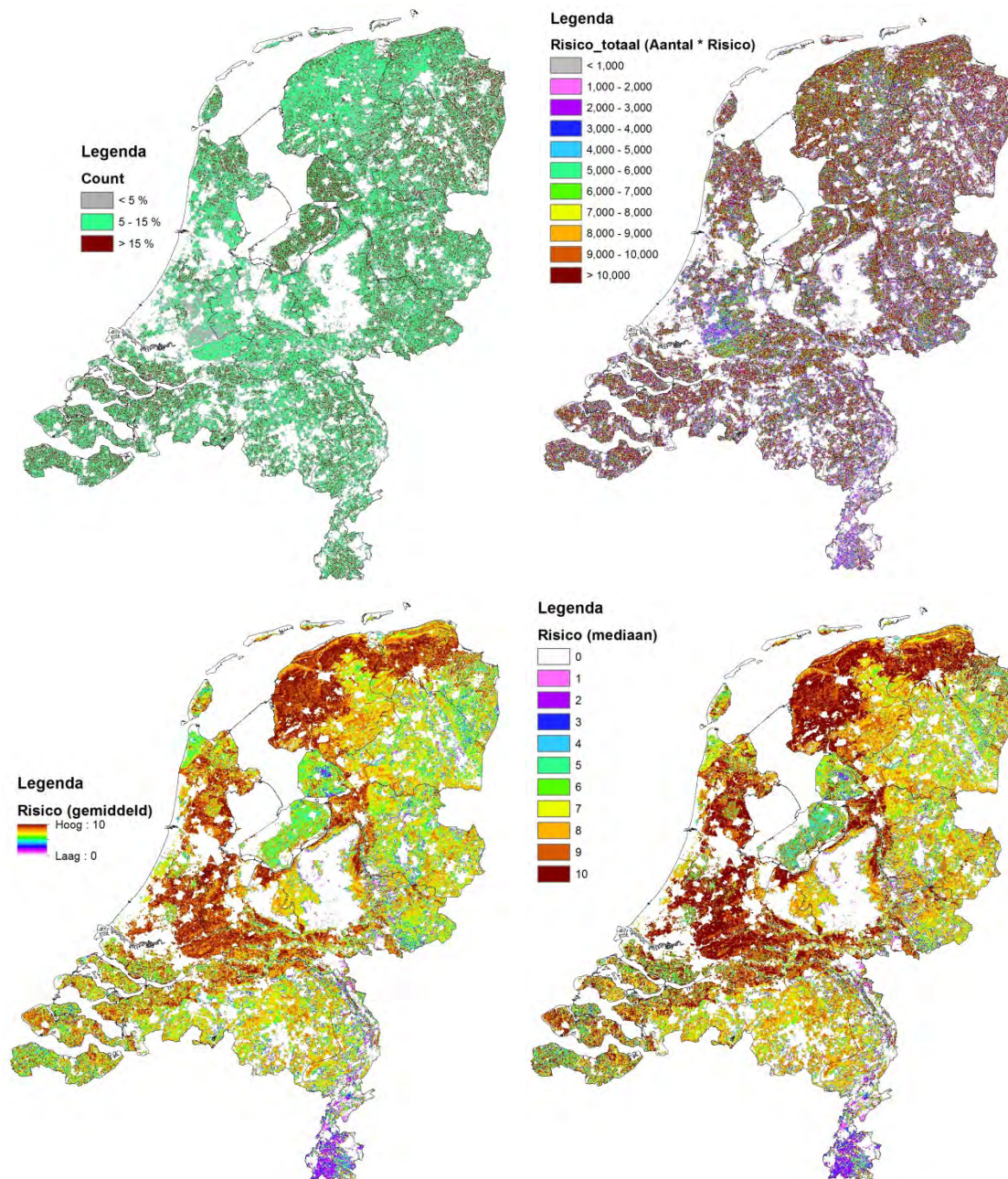
Risico		Kans											
		Beschikbare bodemberging (GHG)											
Gevolg		Zeer gering (< 10 mm)			Gering (10<b<20)			Matig (20<b<40)			Groot (> 40 mm)		
		Infiltratiesnelheid (K= 1 < cm/d ; 1 cm/d<M< 10 cm/d; G = > 10 cm/d)											
		K	M	G	K	M	G	K	M	G	K	M	G
Afstand	< 2	10	9	8	9	8	7	8	7	6	7	6	5
opper-	2-10	8	7	6	7	6	5	6	5	4	5	4	3
vlake-	10 - 50	6	5	4	5	4	3	4	3	2	3	2	1
water	>50	5	4	3	4	3	2	3	2	1	2	1	0
(m)													

De polygonen van de potentiële natte plekken (Figuur 4.11) zijn omgezet naar een grid van 2,5*2,5 m² met als waarde de minimale afstand tot nabijgelegen oppervlaktewater. De kaart met maaiveldgreppels heeft de waarde 0 gekregen en is hiermee samengevoegd. De kaarten voor de bodemberging en infiltratiesnelheid zijn omgezet naar een grid van 25*25 m². De drie kaarten zijn vervolgens geïntegreerd op basis van Tabel 5.2 naar drie of vier klassen. Vervolgens zijn de drie geïntegreerde kaarten samengevoegd tot een 2,5 m basisgrid.

De resultaatkaart is vervolgens opgeschaald naar een 250 m grid, hierbij is per grid van 250*250 m² bepaald:

- Het percentage areaal lage plekken.
- Gesommeerd risico.
- Mediaan van het risico.
- Gemiddelde risico.

De resulterende kaarten zijn weergegeven in Figuur 5.9.



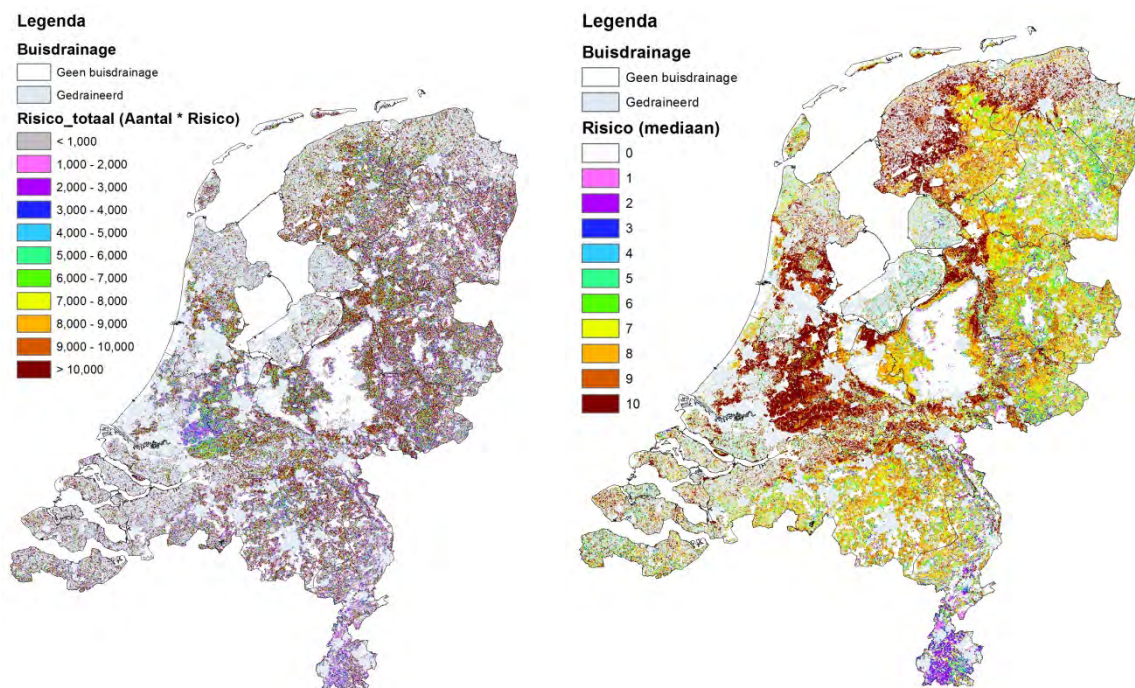
Figuur 5.9 Percentage aan potentiële natte plekken (linksboven), gesommeerd risico (rechtsboven), gemiddeld risico (linksonder) en mediaan van het risico (rechtsonder).

Een volledig landbouwkundig gebruikte gridcel zal resulteren in een percentage potentiële natte plekken van 15%. Omdat een gridcel meestal niet geheel landbouwkundig wordt gebruikt zal het percentage veelal enigszins lager uitvallen. Opvallend is het relatief lage percentage lage plekken in de Krimpenerwaard (grijs), dit wordt gedeeltelijk verklaard door het grote percentage oppervlaktewater. Het hoge percentage lage plekken in Oost-Groningen komt door de perceelsgrootte waardoor lage plekken grote arealen kunnen beslaan.

De kaart met het gesommeerde risico is lastiger te interpreteren omdat ook rekening moet worden gehouden met het areaal aan potentiële natte plekken, daarom kan beter worden uitgegaan van het gemiddelde of de mediaan.

Voor elke gridcel is het gemiddelde en de mediaanwaarde van het risico bepaald. Beide kaarten komen goed overeen. Uit deze kaart blijkt dat het hoogste risico voorkomt in de kleigebieden van Friesland en Groningen, het rivierengebied en de veengebieden, zoals het Utrechts-Hollands en het Friese veengebied. Zuid-Limburg valt op door het geringe risico, dit kan onder andere worden verklaard door de geringe slootdichtheid. In Zuid-Limburg is de maaiveldhelling groot waardoor het risico op afspoeling groot is, de maaiveldhelling is niet meegenomen in de analyse. Ook liggen in Zuid Limburg grote arealen lössgronden die zeer slempgevoelig zijn.

In gedraineerde percelen komen hoge grondwaterstanden minder voor, daardoor is de beschikbare bodemberging relatief groot. Het risico op oppervlakkige afstroming doordat de grondwaterstand stijgt tot in maaiveld is bij aanwezigheid van buisdrainage daardoor lager dan zonder buisdrainage. Het is niet bekend of tijdens de opname van de bodemkaart het perceel wel of niet was gedraineerd, waardoor het niet duidelijk is of de aanwezigheid van buisdrainage is verdisconteerd in de beschikbare bodemberging. De infiltratiesnelheid kan nog steeds beperkend zijn zodat op gedraineerde plekken nog steeds oppervlakkige afstroming kan plaats vinden als gevolg van overschrijding van de infiltratiesnelheid. In Figuur 5.10 zijn gedraineerde percelen grijs ingekleurd. Dit is de drainagekaart (Massop *et al.*, 2013) die ook in het NHI wordt gebruikt.



Figuur 5.10 Gesommeerd risico (links) en mediaan van het risico (rechtsonder) waarbij gebieden met buisdrainage (25 m grid) grijs zijn ingekleurd.

Grote delen van het kleigebied zijn gedraineerd, hier is de infiltratiesnelheid vaak laag waardoor het risico op oppervlakkige afstroming blijft bestaan.

Mogelijk vormt scheurvorming een snelle route naar het oppervlaktewater. Scheurvorming treedt vooral op in de zomer, in de winter kunnen scheuren geheel of gedeeltelijk verdwijnen. Tiktak (bijlage 1) heeft dit risico in kaart gebracht.

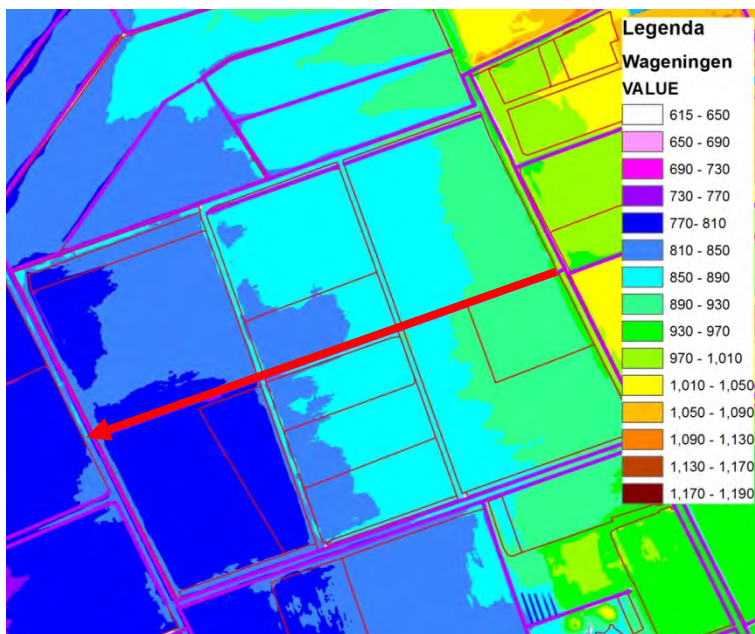
6 Validatie

Validatie van de resultaatkaarten is geen onderdeel van de opdracht, toch is op enkele plekken nagegaan of de resultaatkaarten overeenkomen met veldwaarnemingen en worden kort methoden genoemd die mogelijk in de toekomst kunnen worden gebruikt om de kaarten te toetsen. Achtereenvolgens komen aan bod veldwaarnemingen na natte perioden, luchtfoto's en NDVI-satellietwaarnemingen (groenmonitor)

6.1 Veldwaarnemingen

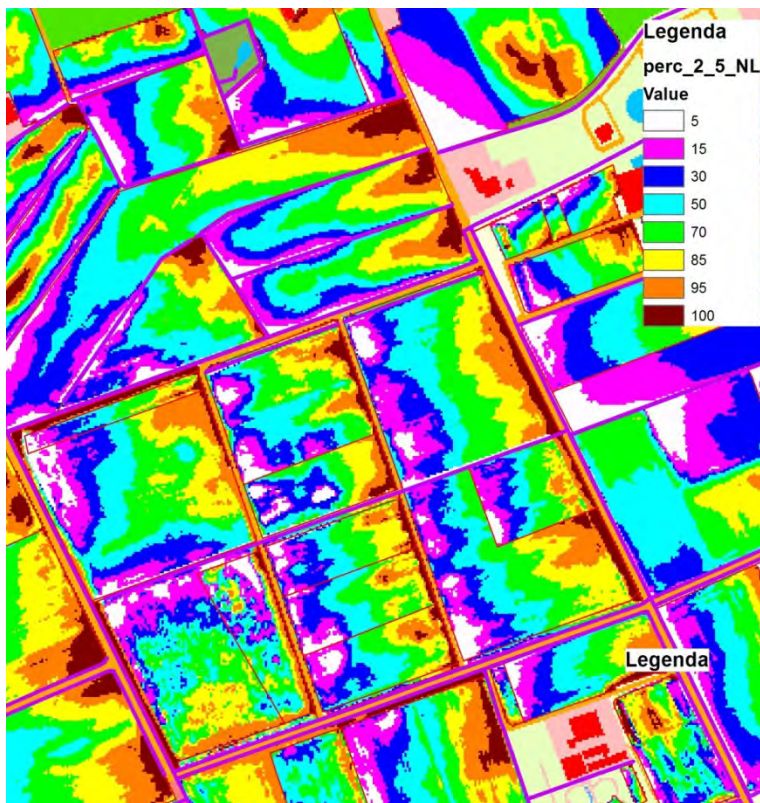
Op twee locaties, namelijk in de omgeving van Alterra in Wageningen een zandgebied en in de omgeving van Duiven een komkleigebied is een beperkt veldbezoek uitgevoerd.

6.1.1 Wageningen



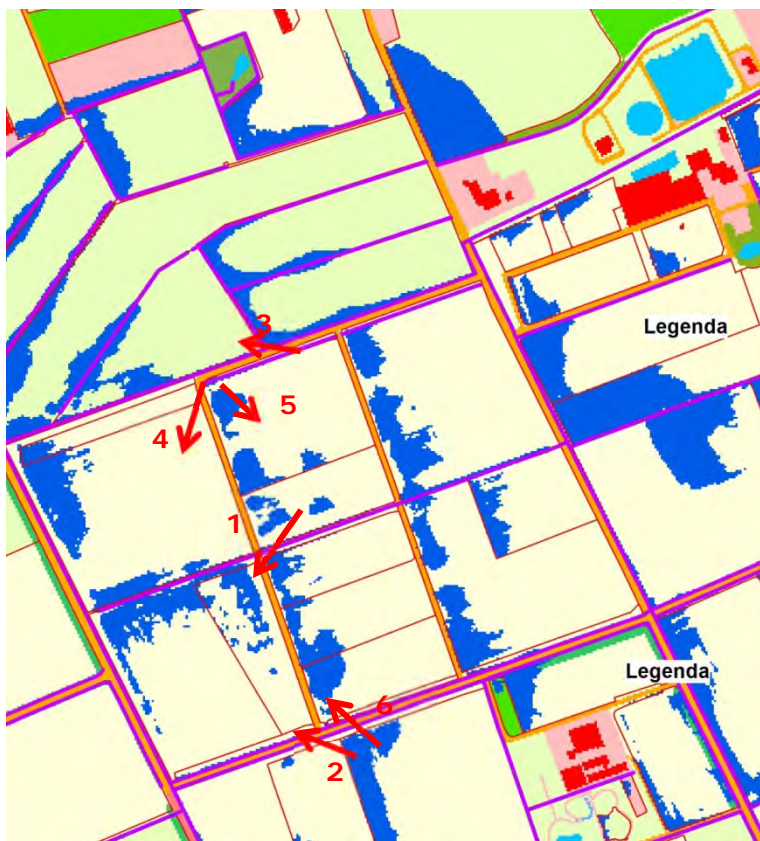
Figuur 6.1 Hoogtekaart van enkele percelen gelegen ten noorden van Wageningen en ten westen van de Mansholtlaan (rode pijl is sloot met onderbemaling).

Uit Figuur 6.1 volgt dat het maaiveld helt van oost naar west. Het is een zandgebied met kwel. De sloot in het midden van het blok (rode pijl) wordt bemalen met een pomp, het is een onderbemaling. Veel percelen zijn gedraineerd in het gebied.



Figuur 6.2 Percentielen.

De maaiveldhelling zorgt ervoor dat de laagste plekken op de percelen vooral aan de westelijke zijde van het perceel zijn gesitueerd (Figuur 6.2 en Figuur 6.3).



Figuur 6.3 Lage plekken (15%) en locaties waar foto's zijn genomen. De pijl geeft de richting aan waarin de foto genomen is.



Figuur 6.4 Locatie 1 op 15-11-2013 (linksboven) en 17-1-2014 (rechtsboven), afstroming over maaiveld met detail (linksonder) en perceelsoverzicht natte plekken op 24-1-2014 (rechtsonder).

Voor locatie 1 Figuur 6.4 rechtsonder blijkt dat tussen de weg en de natte plek een hoger gedeelte van het perceel ligt dat komt overeen met de kaart (Figuur 6.3), wel zien we een doorbraakplek op de voorgrond.

Op 16-1-2014 na regenbui (visueel waargenomen) stroomde op deze plek duidelijk water over maaiveld naar de sloot, op 17-1-2014 (Figuur 6.4) stroomde er nog iets af maar was de omvang van de natte plek sterk afgenomen. Ook eerder, zoals blijkt uit de foto van 15-11-2013, was al water via deze plek afgestroomd naar de naastliggende sloot. Op 24-11-2013 stroomde er wederom water van het maaiveld in de sloot. Men heeft ter plaatse van het overlooppunt wat grond gedeponereerd om het water tegen te houden maar dit is gedeeltelijk weggespoeld (foto linksonder).



Figuur 6.5 Foto vanaf locatie 2 van hetzelfde perceel.

We zien dat er op het perceel ook nog diverse depressies voorkomen die niet in de lage plekken kaart voorkomen, gemiddelde is dit een hoger deel van het perceel (Figuur 6.5).

Locatie 3 is een maisperceel waarvan tijdens de oogst onder te natte omstandigheden de bodemstructuur is vernield, daardoor grote plassen op het land zijn ontstaan, het grasrandje met daarachter de bouwvoor langs de sloot voorkomt oppervlakkige afspoeling en is daarmee een geschikte maatregel om oppervlakkige afstroming te voorkomen (Figuur 6.6).



Figuur 6.6 Locatie 3. Water op het land doordat de bodemstructuur bij de oogst is vernield (links) en opvang water in ploegvoor achter grasrand (rechts).



Figuur 6.7 Locatie 4 links en locatie 5 rechts.

Op locatie 4 is in het centrum van het perceel een natte plek zichtbaar deze komt niet terug in plassenkaart, op locatie 5 zijn in het geheel geen plassen zichtbaar, maar wel op de kaart. (Figuur 6.7)

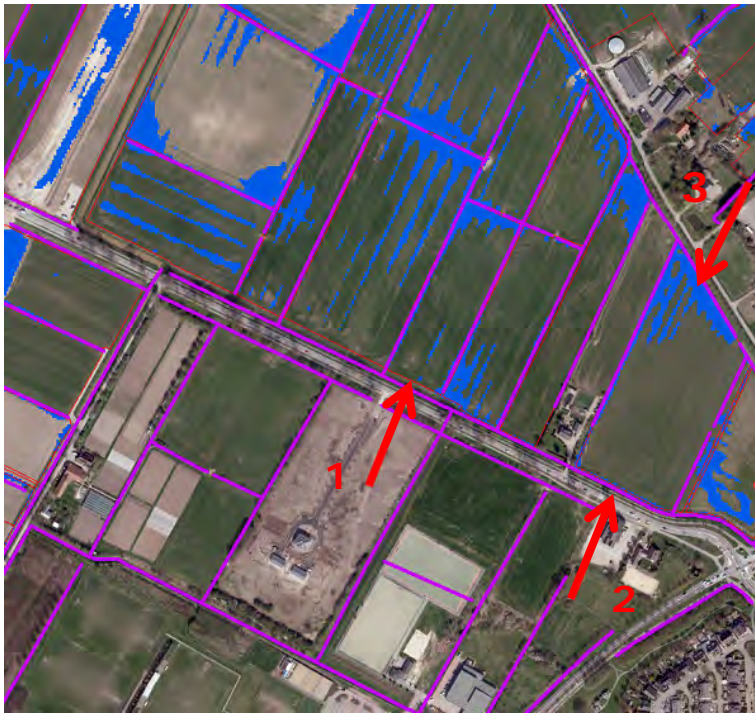


Figuur 6.8 Locatie 6. Foto locatie op 15 november (linksboven, rechtsboven, linksonder). Rechtsonder is op 17 januari genomen.

In de periode voorafgaande aan 15 november stond er een grote plas op locatie 6 overeenkomend met de natte plek in Figuur 6.3. De eigenaar van het perceel heeft vervolgens een greppel gegraven waardoor het water werd afgevoerd (Figuur 6.8 rechtsboven), maar aan de kleur is de omvang van de natte plek nog goed zichtbaar. Op 17 november zien we geen water meer op het land staan, wel is een donkere plek zichtbaar.

6.1.2 Duiven

De oude kern van het dorp Duiven ligt op een zandopduiking en is omgeven door een komkleigebied (Duivense broek). Er liggen veel graslandpercelen met maaiveldgreppels maar ook liggen er enkele bouwlandpercelen. In Figuur 6.9 zijn de berekende lage plekken (15% laagste maaiveld) weergegeven alsmede zijn enkele locaties aangegeven waar foto's zijn gemaakt.



Figuur 6.9 Locatie 1 en 2 langs de Rijksweg tussen Duiven en Westervoort en locatie 3 langs de Engse weg, deze corresponderen met de foto's in de figuren 6.10 en 6.11.



Figuur 6.10 Locatie 1 pijp die in verbinding staat met maaiveldgreppel.

Maaiveldgreppels voeren veelal via een pijp door de kopakker (Figuur 6.10) water af naar de sloot, dit betekent dat de berekende natte plekken in geval van maaiveldsgreppels niet overeenkomen met de werkelijke situatie.



Figuur 6.11 Locatie 2 (links) en locatie 3 (rechts).

Op locatie 2 geeft de kaart geen natte plek weer wel liggen hier maaivelddepressies die kunnen overlopen naar de sloot, aan de overzijde van het perceel (locatie 3) geeft de kaart wel plassen, hier stond ook daadwerkelijk water (Figuur 6.11). Door de aanwezigheid van een grasmat lijkt de omvang van de natte plek kleiner dan de werkelijke grootte.

Het risico voor oppervlakkige afspoeling wordt onder andere bepaald door de connectiviteit. Door bioactiviteit in de vorm van muize- en mollegangen kunnen plassen via het gevormde gangenstelsel leeglopen in de sloot. In Figuur 6.12 zijn gaten in de slootwand zichtbaar. Nabij de sloot zijn muizen en mollen actiever omdat de grond hier relatief droog is door de diepere grondwaterstand ten opzichte van de rest van het perceel (opbolling).



Figuur 6.12 Bioactiviteit in de oever van de waterloop.

Een mogelijkheid om oppervlakkige afstroming te voorkomen is het aanbrengen van een bufferzone en een ploegvoor, tussen bufferzone en perceel, voor de opvang van neerslag. In Figuur 6.13 is een voorbeeld gegeven van een smalle bufferzone met ploegvoor. Bij de toepassing van deze maatregel moet men voorkomen dat door bioactiviteit het effect van de maatregel wordt teniet gedaan. Ook is het niet de bedoeling om een greppel te graven naar de sloot zodra er water op het land staat. De bereidheid van de boer om dit toe te laten zal afhangen van de periode waarin de natte plek zich voor doet. Aan het einde van de winter/voorjaar heeft de boer belang bij een zo snel mogelijke drainage van zijn land om de draagkracht van het perceel te herstellen voor grondbewerking of beweiding.



Figuur 6.13 Locatie 4. Op het akkerbouwperceel zijn weinig plassen zichtbaar, we zien hier wel een voorbeeld van ploegvoor met een grasbuffer tussen bouwlandperceel en sloot, in de ploegvoor wordt water geborgen, dat daardoor niet oppervlakkig afstroomt.

Hoewel er slechts op twee locaties in het veld is gekeken of de berekende natte plekken ook daadwerkelijk voorkomen, blijkt dat de plekken die in het veld worden aangetroffen ook voorkomen op de kaart. Omgekeerd zien we dat regelmatig op de kaart plekken zijn aangegeven die in het veld niet werden waargenomen. Natte plekken zouden hier alsnog zichtbaar kunnen worden na perioden met meer neerslag dan in de periode voorafgaande aan de waarneming, ook is het mogelijk dat de bodem een goede infiltratiecapaciteit heeft met voldoende beschikbare bodemberging.

6.2 Luchtfoto's

6.2.1 Groningen

Luchtfoto's, mits genomen op het juiste moment kunnen aanwijzingen geven voor de aanwezigheid van plassen. Figuur 6.14 geeft een voorbeeld.

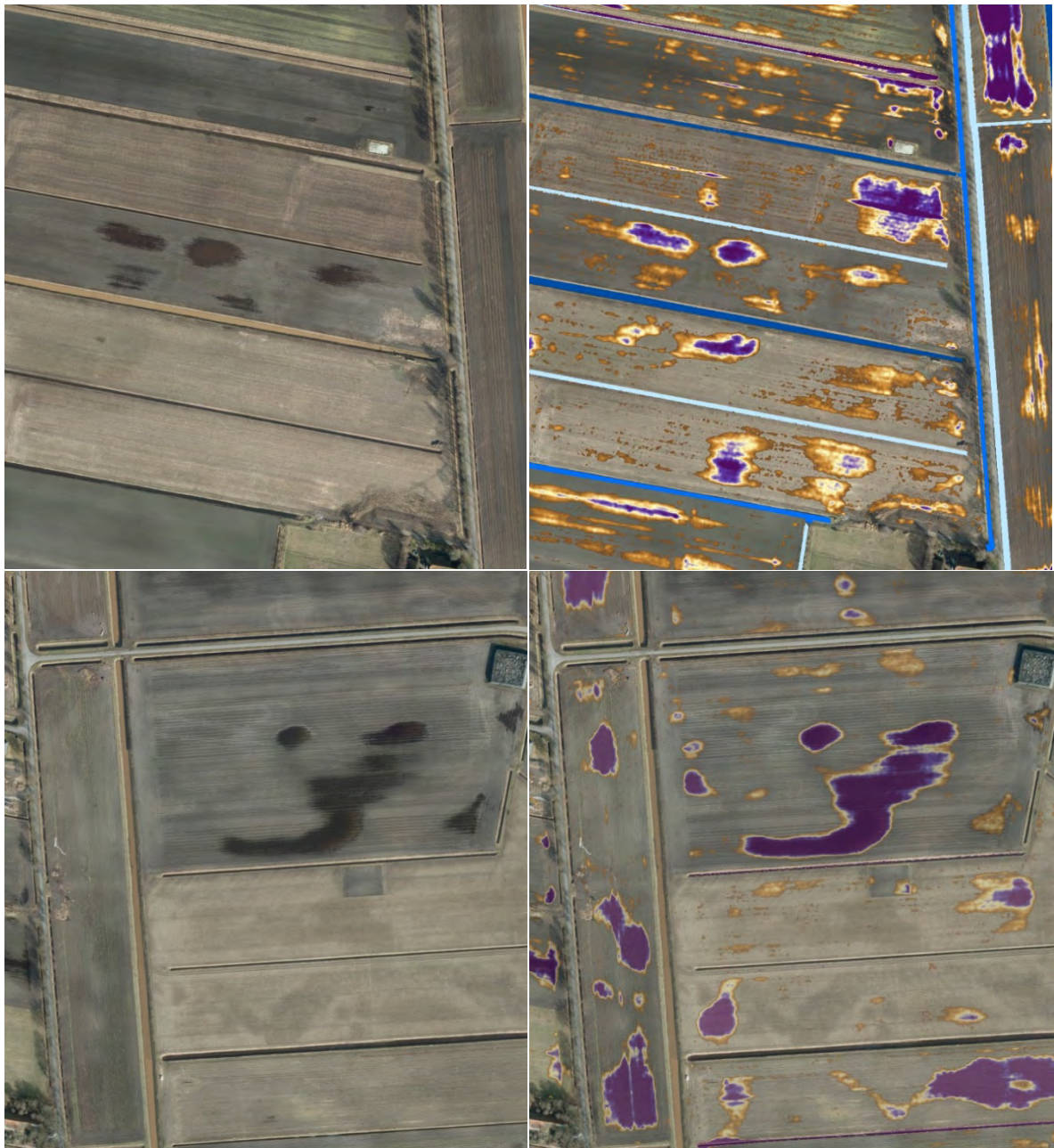


Fig. 6.14 Berekende maaivelddepressies (rechts) en bijbehorende luchtfoto (links) op een locatie in het kleigebied in Groningen.

Op de luchtfoto zijn enkele donkere plekken zichtbaar, dit zijn naar alle waarschijnlijkheid (niet gecontroleerd in het veld) plassen of locaties waar recent water heeft gestaan. Een aantal berekende maaivelddepressies komen goed overeen met de donkere plekken op de kaart, terwijl ook een aantal maaivelddepressies worden berekend die niet als donkere plekken terugkomen in de luchtfoto's. Of luchtfoto's geschikt zijn voor het vaststellen van potentiële natte plekken hangt af van het opname moment.

Evenals bij het veldbezoek geldt dat als plassen worden waargenomen op de foto deze goed overeenkomen met de kaart, maar dat niet alle berekende plassen ook daadwerkelijk leiden tot water op het maaiveld.

6.3 NDVI

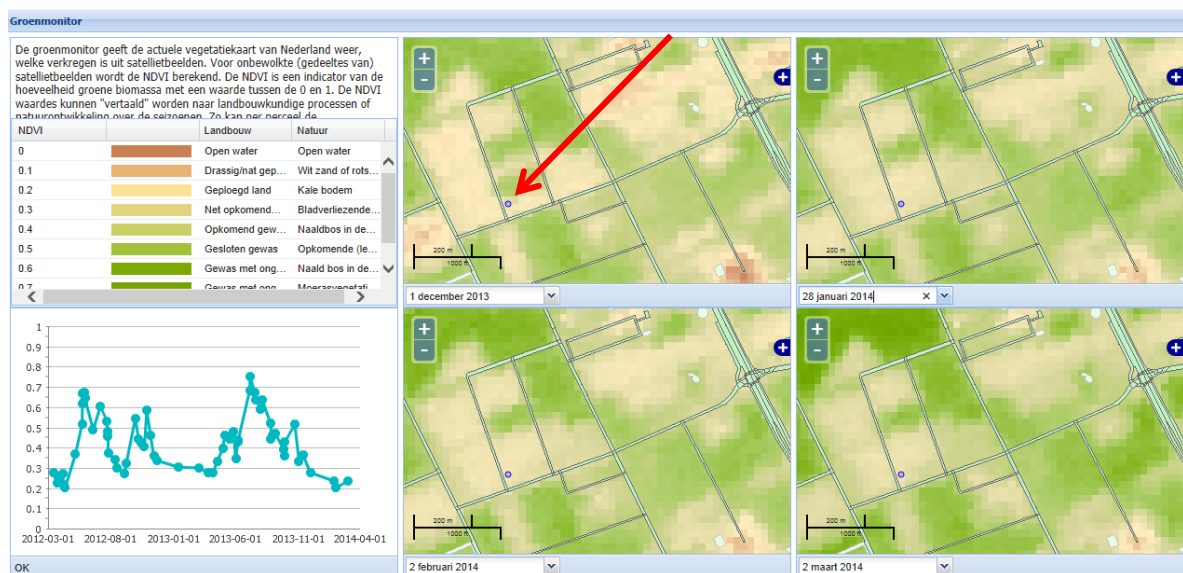
De Normalized Difference Vegetation Index, afgekort NDVI, staat voor de ratio tussen de reflecties van rood en nabij infrarood (NIR) licht, in formule:

$$\text{NDVI} = \frac{\text{NIR} - \text{rood}}{\text{NIR} + \text{rood}}$$

Planten absorberen het rode licht (fotosynthese) en reflecteren het Nabij Infra-Rode (NIR) licht. Door de bepaling van de NDVI kan de hoeveelheid groene biomassa aan het aardoppervlak worden bepaald (www.groenmonitor.nl). Typische NDVI-waarden zijn:

- Water < 0
- Kale bodem 0,1 - 0,2
- Vegetatie 0,6 - 0,8

Door gebruik te maken van NDVI-gegevens die zijn verzameld op een geschikt moment is het misschien mogelijk plassen te detecteren. Plassen kunnen leiden tot groeivertraging, latere opkomst of helemaal geen opkomst van het gewas, dit biedt mogelijkheden om plassen te toetsen aan de praktijk. Voor het gebied weergegeven in Figuur 6.3 zijn in Figuur 6.15 enkele recente vegetatiekaarten met NDVI-waarden weergegeven.



Figuur 6.15 Groenmonitor met beelden van 1-12-2013, 28-1-2014, 2-2-2014 en 2-3-2014 voor een gebied nabij Alterra in Wageningen, de stip (rode pijl) komt overeen met de natte plek van locatie 6 in Figuur 6.3.

De natte plek op locatie 6 in Figuur 6.3 is niet als water herkenbaar in Figuur 6.15, mogelijk is de plek daarvoor te klein. In het voorjaar kan de plek via de groenmonitor verder worden gevolgd of er aanwijzingen zijn dat het gewas niet of later opkomt. In de grafiek in Figuur 6.15 is tevens het verloop van de NDVI sinds 2012 weergegeven.

7 Conclusies en aanbevelingen

7.1 Conclusies

De lage plekkenkaart is niet geheel landsdekkend.

Voor de afleiding van de potentiële natte plekkenkaart is gebruik gemaakt van een percelenkaart met landbouwkundig gebruikte percelen. In andere gebieden zoals natuurgebieden kan ook oppervlakkige afstroming plaatsvinden, deze gebieden zijn echter niet meegenomen. Ook kleine percelen, < 100 m², zijn niet meegenomen in de procedure. Daarnaast zijn enkele percelen niet door procedure gekomen. De totale oppervlakte van Nederland bedraagt 35.000 km², volgens Bedrijfsregistratie percelen (BRP) bedraagt het areaal landbouwgrond 19.101 km² (54%). Na bewerking van de percelenkaart voor AAN-percelen en TOP10-vector informatie bedraagt het landbouwareaal 17.984 km² (51%). Het totale areaal landbouwgrond waarvoor lage plekken zijn berekend bedraagt 17.875 km² (51%), dit zijn 638.175 percelen overeenkomend met 93,5% van areaal landbouwgrond volgens de BRP.

De afgeleide lage plekkenkaart is een potentiële plassenkaart.

De afgeleide lage plekkenkaarten geeft de laagste plekken en de maaivelddepressies weer voor landbouwpercelen. Of op deze plekken plassen ontstaan is afhankelijk van meteorologische omstandigheden (onder andere neerslaghoeveelheid en intensiteit), de bodemkundige hydrologische eigenschappen (infiltratiecapaciteit, beschikbaar bergend vermogen in de ondergrond) en de ondergrondse afvoer. Op basis van bodemkundige en bodemfysische informatie is een globale schatting gemaakt van de infiltratiesnelheid, verder is op basis van bodemkundige informatie en grondwaterstandsgegevens de beschikbare bodemberging ingeschat. Beide aanvullende kaarten kunnen samen met de lage plekkenkaarten worden gebruikt om het risico voor het ontstaan van plassen op het maaiveld in te schatten. Daarnaast zijn er nog andere factoren zoals de aanwezigheid van ondiepe storende lagen, bodemverdichting of de aanwezigheid van buisdrainage die invloed hebben op de kans dat er plassen ontstaan.

De connectiviteit of afstand tot de sloot is een belangrijke risicofactor.

De boer ziet niet graag water op het land. Of een boer een greppel maakt om een natte plek te ontwateren wordt onder andere bepaald door de afstand tot de sloot. Een natte plek die ver van de sloot ligt geeft daarmee mogelijk een lager risico op belasting van het oppervlaktewater dan een natte plek dichtbij een sloot. Een mogelijke uitzondering hierop vormt de stroming via scheuren. Daarnaast kunnen plassen dichtbij een sloot door bio-activiteit (mollen- en muizengangen) een risico vormen voor de belasting van het oppervlaktewater. Ook maaiveldgreppels vormen een groot risico.

Risico voor oppervlakkige afspoeling is groot in klei en veengebieden.

Zowel in de klei als in de veengebieden is de doorlatendheid aan maaiveld vaak gering. In gebieden met geringe doorlatendheid worden vaak maaiveldgreppels aangelegd waardoor het neerslagoverschot voor een deel oppervlakkig wordt afgevoerd naar het aangrenzende oppervlaktewater. Verder worden veengebieden gekenmerkt door ondiepe grondwaterstanden waardoor de beschikbare bodemberging gering is en bij neerslag de grondwaterstand snel kan stijgen tot in maaiveld en plassen worden gevormd.

De kaart biedt een handvat bij de keuze en toepassing van maatregelen om belasting van het oppervlaktewater met nutriënten tegen te gaan.

Er zijn meerdere maatregelen mogelijk om belasting van het oppervlaktewater via runoff tegen te gaan, zoals d.m.v. dammetjes, bezinkgreppels, tussen ploegvoor en sloot smalle grasstrook handhaven, grondbewerkingsrichting parallel aan de sloot, buisdrainage, verleggen rij en looppaden verder van de sloot en bufferstroken. Om in gesprek te gaan met de boer bieden de kaarten een handvat, terwijl de boer de praktijk goed genoeg kent om aan te geven welke potentiële plekken reële plassen zijn. In het Innovatieprogramma KRW is hiermee ervaring opgedaan bij

het project 'Inrichtingsmaatregelen tegen oppervlakkige afstroming'
([http://www.kennismoetstromen.nl/?e=11&w=aanpak-nutriëntenkringloop en Massop en Noij](http://www.kennismoetstromen.nl/?e=11&w=aanpak-nutriëntenkringloop%20en%20Massop%20en%20Noij) 2012).

Door klimaatverandering neemt de kans op oppervlakkige afstroming toe.

Door klimaatverandering neemt het aantal intensieve buien toe alsook de totale hoeveelheid winterneerslag, hierdoor neemt de kans op belasting van het oppervlaktewater door oppervlakkige afspoeling toe (Tabel 7.1).

Tabel 7.1

Klimaatverandering in Nederland rond 2050 ten opzichte van het basisjaar 1990 volgens de vier KNMI'06 klimaatscenario's. Het klimaat in het basisjaar 1990 is beschreven met gegevens van 1976 tot en met 2005. Onder 'winter' wordt hier verstaan december, januari en februari, 'zomer' staat gelijk aan juni, juli en augustus.

		G	G+	W	W+
Wereldwijde temperatuurstijging		+1°C	+1°C	+2°C	+2°C
Verandering in luchtstromingspatronen		nee	ja	nee	ja
Winter ¹	gemiddelde temperatuur	+0,9°C	+1,1°C	+1,8°C	+2,3°C
	koudste winterdag per jaar	+1,0°C	+1,5°C	+2,1°C	+2,9°C
	gemiddelde neerslaghoeveelheid	+4%	+7%	+7%	+14%
	aantal natte dagen (≥ 0,1 mm)	0%	+1%	0%	+2%
	10-daagse neerslagsom die eens in de 10 jaar wordt overschreden	+4%	+6%	+8%	+12%
Zomer ¹	hoogste daggemiddelde windsnelheid per jaar	0%	+2%	-1%	+4%
	gemiddelde temperatuur	+0,9°C	+1,4°C	+1,7°C	+2,8°C
	warmste zomerdag per jaar	+1,0°C	+1,9°C	+2,1°C	+3,8°C
	gemiddelde neerslaghoeveelheid	+3%	-10%	+6%	-19%
	aantal natte dagen (≥ 0,1 mm)	-2%	-10%	-3%	-19%
Zeespiegel	dagsom van de neerslag die eens in de 10 jaar wordt overschreden	+13%	+5%	+27%	+10%
	potentiële verdamping	+3%	+8%	+7%	+15%
absolute stijging		15-25 cm	15-25 cm	20-35 cm	20-35 cm

7.2 Discussie

De maaiveldhoogte is aan veranderingen onderhevig.

Het AHN is een eenmalige opname die de hoogte van het maaiveld op een bepaald moment weergeeft. Door grondbewerkingen, zoals ploegen, eggen en oogstactiviteiten verandert de vorm en hoogte van het maaiveld (microreliëf). De veranderingen zullen het grootst zijn op bouwlandpercelen. Ook maaiveld daling in veengebieden draagt bij aan verandering van de maaiveldhoogte. Hierdoor kan de huidige maaiveldhoogte afwijken van de maaiveldhoogte in het AHN. Veranderingen in het microreliëf beïnvloeden vooral bij geringe maaiveldberging de grootte van de maaiveldberging.

Niet alle ondiepe weerstandbiedende lagen zijn in kaart te brengen.

Voor de inschatting of de potentiële natte plekken echte plassen zijn kan gebruik worden gemaakt van bodemkundige informatie uit de bodemkaart 1 : 50000. Deze kaart bevat geen/bepaalde informatie over dunne weerstandbiedende laagjes, zoals leembandjes, ploegzool enzovoort, waarop water kan stagneren waardoor plassen kunnen ontstaan. Bovendien kan structuurbederf zijn opgetreden sinds de opname van de bodemkaarten door minder goede landbouwpraktijken.

Ondergrondverdichting van de bodem vormt een risico voor plasvorming

Bij te hoge wiellasten verdicht de bodem waardoor het porie volume vermindert. Bij een te sterke bodemverdichting neemt de doorlatendheid en het vochtbergend vermogen van de bodem af, dit kan tot plasvorming en oppervlakkige afstroming leiden maar ook tot interflow. Het risico op ondergrondverdichting wordt bepaald door de bodemeigenschappen en het landgebruik. Van den Akker *et al.* (2012) stelt dat de meeste gronden in Nederland een matig tot zeer groot risico hebben voor ondergrond verdichting.

Aanwezigheid van buisdrainage vermindert de kans op plassen

De aanwezigheid van een goed werkend buisdrainagesysteem verhoogt de beschikbare bodemberging en verlaagt de drainageweerstand waardoor de kans op het ontstaan van plassen op het land geringer wordt. De ligging van buisdrainage is via de landbouwmetellingen redelijk goed bekend, of de buisdrainage goed werkt is minder goed bekend.

7.3 Aanbevelingen

Maaiveldgreppels moeten in kaart worden gebracht.

Waterlopen smaller dan 0,5 m en ondieper dan 0,5 m komen niet voor in de TOP10NL. Op veel percelen met een beperkte infiltratiecapaciteit en/of geringe bodemberging zijn met een greppelfrees maaiveldgreppels aangebracht om de ontwatering te verbeteren. Maaiveldgreppels komen vooral voor in klei- en veengebieden. Deze maaiveldgreppels komen als depressies en lage plekken voor op de lage plekken kaarten. Op de kopakker ontbreken de maaiveldgreppels; om transport met de trekker over het perceel gemakkelijker te laten verlopen zijn in de kopakkers pijpen gelegd en is het maaiveld hier geëgaliseerd. Via deze pijpen voeren de maaiveldgreppels af op de sloot (Figuur 6.9).

De maaiveldgreppels zijn in werkelijkheid dus geen depressies en dragen direct bij aan de belasting van het oppervlaktewater. Er moet een procedure worden ontwikkeld om maaiveldgreppels te herkennen en vervolgens te elimineren uit het bestand met depressies. Figuur 7.1 geeft een eerste poging om maaiveldgreppels te selecteren. Voor de hydrologische modellering verdient het aanbeveling om een kaart met maaiveldgreppels af te leiden.



Figuur 7.1 *Bewerking van lage plekken waarbij maaiveldgreppels resteren.*

Vormt scheurvorming een snelle route naar het oppervlaktewater?

Mogelijk ontstaan bij scheurvorming in de bodem snelle routes tussen plassen midden op het veld en aangrenzend oppervlaktewater. Of dit optreedt moet nader onderzocht worden, op dit moment is hierover weinig veldkennis beschikbaar. Een ander route bij scheurvormig is het ontstaan van connecties met drainpijpen.

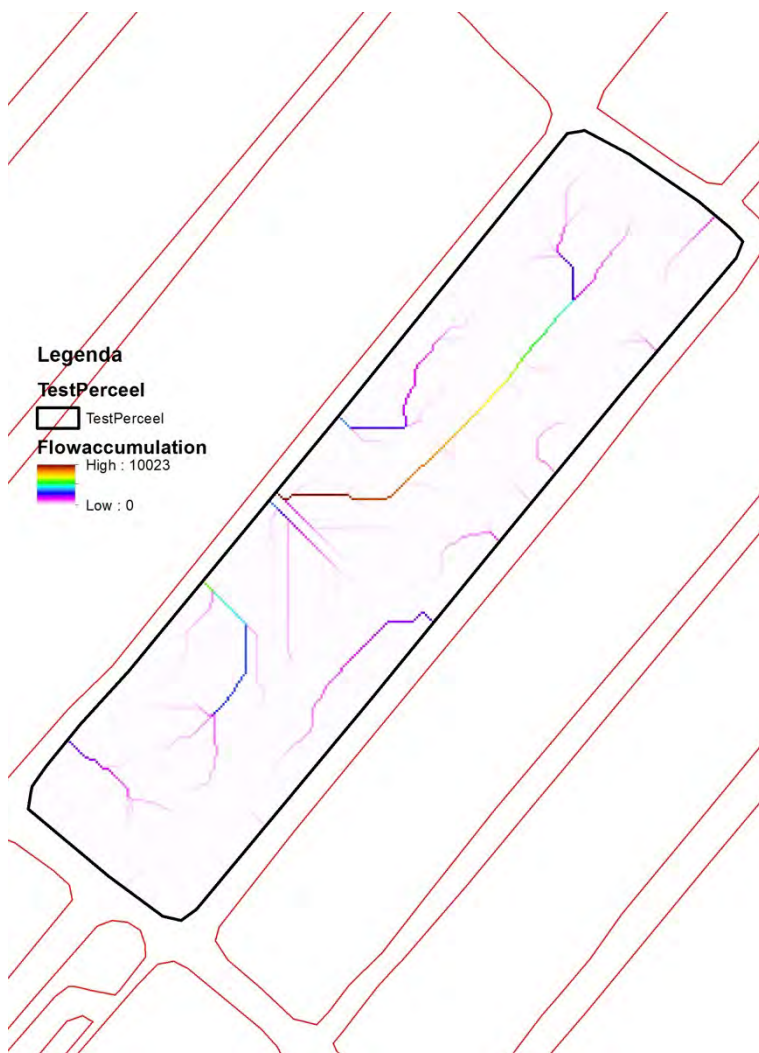
Onderzoek naar NDVI om plassenkaart te valideren.

Radarbeelden komen in steeds hogere resolutie en frequentie beschikbaar. Uit radarbeelden kan informatie over landgebruik worden afgeleid, alsook over de productie van biomassa, via de bepaling van de Normalized Difference Vegetation Index (NDVI). Met NDVI kunnen zowel water (negatieve waarde NDVI) als mogelijk groeiachterstand inzichtelijk worden gemaakt, dit geeft aanwijzingen over het voorkomen van plassen, weerstand in de ondergrond zoals slecht doorlatende laagjes en bodemverdichting. Nader onderzoek moet plaatsvinden of met radarbeelden is te bepalen waar in werkelijkheid plassen optreden waardoor een risico ontstaat op belasting van het oppervlaktewater.

Berekening van flowaccumulation op perceelsniveau geeft een goede aanvulling op de lage plekkenkaarten

In paragraaf 4.7 is beschreven hoe met de Topo_DTM maaivelddepressies kunnen worden gelokaliseerd en hoe hiermee de potentieel beschikbare maaiveldbergingscapaciteit kan worden berekend. Het resultaat was een 'depressieloze' DTM. Deze kaart in combinatie met de percelenkaart kan vervolgens worden gebruikt om op perceelsniveau de flowaccumulatie te berekenen. Met deze kaart wordt inzicht verkregen hoe bij stroming over het maaiveld water accumuleert en op welke plekken aan de rand van het perceel de meeste afstroming plaatsvindt alsmede wat het bijbehorende vanggebied van deze afstroomplekken is. Deze uitstroompunten hoeven niet overeen te komen met de (15%) lagen plekken. Om oppervlakkige afstroming te voorkomen zijn de uitstroomplekken geschikte locaties om maatregelen te nemen.

In Figuur 7.2 is een voorbeeld gegeven van flowaccumulatie voor het proefperceel.



Figuur 7.2 Flow-accumulation op het voorbeeldperceel.

Bij deze procedure worden de laagten in het perceel (Figuur 4.15) opgevuld totdat deze overlopen.

Uit Figuur 7.2 blijkt dat er een beperkt aantal locaties zijn op de rand van het perceel via welke grote delen van het perceel kunnen afstromen, als deze locaties grenzen aan sloten dan zijn het potentiële verontreinigingsbronnen. In dit specifieke voorbeeld is de maaiveldgreppel met aangrenzende laagten als een depressie beschouwd, terwijl in werkelijkheid deze greppel via een ondergrondse pijp aan een of twee zijden kan afwateren op de omringende sloot. De ligging van deze ondergrondse pijpen is niet bekend en kan daardoor niet worden meegenomen in de bewerking. Dit geeft wel aan dat inzicht in de ligging van maaiveldgreppels belangrijk is voor de beoordeling van het risico op oppervlakkige afstroming

Buisdrainage vergroot de bodemberging en is daarmee een geschikte maatregel om oppervlakkige afstroming te verkleinen.

Recent is een buisdrainagekaart gemaakt voor Nederland (Massop *et al.*, 2012) gebaseerd op de landbouw-meitellingen. Bij de vervaardiging van deze kaart kon buisdrainage alleen worden toegekend op bedrijfsniveau omdat buisdrainage niet voor elk perceel apart geregistreerd wordt. Daarnaast dient drainage goed te worden onderhouden om een goede werking te waarborgen. Exacte gegevens over de ligging, diepte, afstanden en goede werking van buisdrainage geeft informatie over het risico voor oppervlakkige afstroming op gedraineerde percelen en over niet gedraineerde percelen waar deze maatregel kan worden ingezet om het risico van oppervlakkige afspoeling te verminderen.

Literatuur

- Appels, W.M.; Noij, I.G.A.M.; Massop, H.T.L., 2013. Spatiotemporal variability of saturation excess surface runoff in flat fields due to interactions with meso- and microtopography. In: Water redistribution at the soil surface, ponding and surface runoff in flat fields / Appels, W.M., Wageningen : PhD Thesis, Wageningen University, p. 75 – 98.
- Akker, J.J.H. van den, F. de Vries, G.D. Vermeulen, M.J.D. Hack-ten Broeke en T.Schouten, 2012. Risico op ondergrondverdichting in het landelijk gebied in kaart. Wageningen, Alterra-rapport 2409.
- Bronswijk, J.J.B., 1991. Magnitude, modeling and significance of swelling and shrinkage processes in clay soils. Doctoral thesis. Wageningen, Wageningen Agricultural University.
- Buishand T.A. en J.B. Wijngaard, 2007. Statistiek van extreme neerslag voor korte neerslagduren. De Bilt, KNMI Technical report; TR-295.
- Buishand T.A., R. Jilderda en J.B. Wijngaard, 2009. Regionale verschillen in extreme neerslag. De Bilt, KNMI scientific report; WR 2009-01.
- Dekker. L.W., 1998. Moisture variability resulting from water repellency in Dutch soils. Doctoral thesis Landbouwniversiteit Wageningen.
- Fonck, H., 1968. Een onderzoek naar de infiltratiecapaciteit van gronden in de Gelderse Achterhoek. Wageningen, ICW-nota 455.
- Gaast J.W.J. van der, H.R.J. Vroon en H.Th.L. Massop, 2010. Grondwaterregime op basis van karteerbare kenmerken. Amersfoort, STOWA-rapport 41.
- Haans, J.C.F.M. en P. van der Sluys, 1966. Water- en luchthuishouding van de grond. Diktaat van de cursus bodemkunde 1966/1968.
- Hattum T. van., E.M.P.M. van Boekel, H.Th.L. Massop en R. Schuiling, 2011. P-reducerende maatregelen in het stroomgebied van de Hunze. Inventarisatie van de meest kosteneffectieve P-reducerende maatregelen in het stroomgebied van de Hunze. Wageningen, Alterra-rapport 2183.
- Huinink, J.T.M., 1968. Grasland: rond of vlak? De Buffer, contactorgaan van het consultantschap I.A.D. voor bodem-, water- en bemestingszaken in de veehouderij, 32-1: 1-27.
- ILRI, 1973. Drainage principles and applications. II Theories of field drainage and watershed runoff. Wageningen ILRI-publication 16.
- Jansen Peter, Harry Massop, Piet Groenendijk, Leo Renaud en Rob Hendriks, 2013. Oppervlakkige afstroming en diepte van modelprofielen; Invloed op N- en P-vrachten in STONE2.3. Wageningen, Alterra-rapport 2464.
- Jarvis, N.J., Messing, I., 1995. Near-saturated hydraulic conductivity in soils of contrasting texture as measured by tension infiltrometers. Soil Sci. Soc. Am. J.59, 27-34.
- Jarvis, N.J., Larsbo, M., Roulier, S., Lindahl, A., Persson, L., 2007. The role of soil properties in regulating non-equilibrium macropore flow and solute transport in agricultural topsoils. Eur. J. Soil Sci. 58, 282-292.

-
- Koopmans, G.F., A. van den Toorn, I.C. Regelink en C. van der Salm, 2012. Oppervlakkige afspoeling op landbouwgronden. Incidentele nutriëntenverliezen en speciatie van fosfaat op zware kleigronden. Wageningen, Alterra-rapport 2269.
- Locher, W.P. en H. de Bakker, 1987. Bodemkunde van Nederland. Deel 1, Algemene bodemkunde. Den Bosch, Malmberg.
- Massop H.Th.L., I.G.A.M. Noij, W.M. Appels en A. van den Toorn, 2012. Oppervlakkige afspoeling op landbouwgronden. Metingen op zandgrond in Limburg. Wageningen, Alterra-rapport 2270.
- Massop H.Th.L. en I.G.A.M. Noij, 2012. Oppervlakkige afspoeling op landbouwgronden. Maatregelen op bedrijfsniveau. Wageningen, Alterra-rapport 2272.
- Massop H. Th. L., C. Schuiling en A.A. Veldhuizen, 2013. Buisdrainagekaart 2013. Update landelijke buisdrainagekenmerken tbv NHI op basis van de landbouwmetingen 2010. Wageningen, Alterra-rapport 2381.
- Meijer, M en J. Kroon, 2010. EU-conformiteit Perceelsregister; Basishandboek AAN-laag. Versie 2.4
- Noij I.G.A.M., P.J.T. van Bakel, R.A. Smidt, H.Th.L. Massop en W.J. Chardon, 2006. Fosfaatpilot Noord- en Midden Limburg. Plan van aanpak en monitoring. Wageningen, Alterra-rapport 1255.
- Noij, I.G.A.M. en C. van der Salm (red.), H.Th.L. Massop, E.M.P.M. van Boekel, R. Schuiling, M. Pleijter, O.A. Clevering, P.T.J. van Bakel, W. Chardon en D. Walvoort, 2009. Beleidskader fosfaat voor Noord- en Midden-Limburg. Wetenschappelijke onderbouwing. Wageningen, Alterra-rapport 1894.
- Rijksdienst voor de IJsselmeerpolders, 1979. Rond of vlak grasland in de Flevopolders. Lelystad, RIIP rapport 1979-20 Abw.
- RIVM, 1987. Oppervlakte-afvoer: hoeveelheid en samenstelling. Rapport in het kader van het project "Stikstof in grondwater". Bilthoven, RIVM rapportnummer: 728472003.
- Smits, I., J. Wijngaarden, R. Versteeg en M.Kok, 2004. Statistiek van extreme neerslag in Nederland. Utrecht, STOWA Rapport 2004-26.
- Tiktak, A., R.F.A. Hendriks, J.J.T.I. Boesten en A.M.A. van der Linden, 2012. A spatially distributed model of pesticide movement in Dutch macroporous soils. *Journal of Hydrology*, 470-471 (2012) 316-327.
- Turner E.R., 2006. Comparison of infiltration equations and their field validation with rainfall simulations. Department of Biological Resources Engineering. Thesis, University of Maryland.
- Van Os, J, I. Staritsky, H. Jansen en R. Schooneveld, 2010. Kaart op maat: thuis percelen intekenen. In @gro-Informatica.
- Vries. F. de., 1999. Karakterisering van Nederlandse gronden naar fysisch-chemische kenmerken. Wageningen, Alterra-rapport 654.
- Ward, R.C., 1975. Principles of Hydrology. Second Edition. McGraw-Hill Book Company (UK) Limited. Great Britain.
- Wesseling Jan G, Henk R.J. Vroon en Fokke Brouwer, 2014, Het Titanen project; Een set software-tools voor het verwerken van veld- en labgegevens., Wageningen, Alterra, Alterra-Rapport in voorbereiding.

Wösten, J.H.M., M.H. Bannink en J. Beuving, 1987. Waterretentie- en doorlatendheidskarakteristieken van boven- en ondergronden in Nederland: de Staringreeks. ICW-rapport 18, Stiboka-rapport 1932, ICW/STIBOKA, Wageningen.

Wösten, J.H.M., G.J. Veerman en J. Stolte, 1994. Waterretentie- en doorlatendheidskarakteristieken van boven- en ondergronden in Nederland: de Staringreeks. Vernieuwde uitgave 1994. Technisch document 18, DLO Staring Centrum, Wageningen.

Wösten, J.H.M., G.J. Veerman, W.J.M. de Groot en J. Stolte, 2001. Waterretentie- en doorlatendheidskarakteristieken van boven- en ondergronden in Nederland: de Staringreeks. Vernieuwde uitgave 2001. Wageningen, Alterra-rapport 153.

Wösten, J.H.M., F. de Vries, T. Hoogland, H. Th. L. Massop, A.A. Veldhuizen, H.R.J. Vroon, J.G. Wesseling, J. Heijkers en A. Bolman, 2013. BOFEK2012, de nieuwe, bodemfysische schematisatie van Nederland. Wageningen, Alterra-rapport 2387.

Overige bronnen:

Henk Kramer, Jan Clement en Sander Mucher. ObjectHoogtenNederland (OHN).

Henk Kramer. ObjectHoogtenNederland alles boven maaiveld. Produktblad.

Bijlage 1 Waar vindt mogelijk snelle drainage via macroporiën plaats?

Aaldrik Tiktak en Rob Hendriks/PBL en Alterra/12-08-2008
Zie ook artikel Tiktak et al. (2012).

In het huidige SWAP concept treedt snelle afvoer via de macroporie vooral op als voldaan is aan de volgende twee voorwaarden:

- Het bodemmateriaal is onderhevig aan zwel en krimp, waardoor krimpscheuren kunnen ontstaan.
- Het pakket dat zwelt- en krimpt is continu. Met andere woorden: tot op het niveau van de draindiepte moet een pakket liggen dat onderhevig is aan zwel- en krimp.

Hans Bronswijk heeft in zijn proefschrift een vertaalfunctie beschreven, die de mate van zwel- en krimp van een bodem als functie van het kleigehalte beschrijft:

$$COLE = 0.002552 f_{clay} + 0.0118 \quad r^2 = 0.59 \quad (1)$$

waarin f_{clay} (%) het kleigehalte is en COLE (-) de "Coefficient Of Linear Extensibility", een parameter die een indruk geeft van het krimp- en zwellgedrag van een grond. Een bodemhorizon met een $COLE < 0.03$ heeft een lage potentiaal, een grond met een index > 0.09 zeer hoog. Zie hoofdstuk 2 in Bronswijk (1991) voor details. De gepresenteerde vertaalfunctie is alleen bedoeld voor Nederlandse gronden, omdat het wel of niet krimpen van gronden sterk afhankelijk is van de mineralogie. Met name smectieten vertonen veel zwel- en krimp. Behalve de COLE presenteert Bronswijk (1991) ook de PLE, de Potential Linear Extensibility:

$$PLE = \sum_{i=1}^n d_i COLE_i \quad (2)$$

waarin d_i (cm) de dikte van bodemhorizont i en n het aantal bodemhorizonten. De PLE geeft een indruk van het zwel- en krimp-potentiaal van een volledige pakket.

Gisbewerkingen

Om een indruk te krijgen waar mogelijk preferente stroming door macroporiën optreedt, heb ik de volgende GIS-bewerkingen uitgevoerd:

- Op basis van de kleikaart van Nederland en bovengenoemde 2 vergelijkingen is de PLE gekarteerd tot een diepte van 1.2 m. Om geen resolutie te verliezen, is de kleikaart niet afgeleid uit de GeoPEARL dataset, maar rechtstreeks uit de bodemchemisch/bodemfysische karakterisering van Nederland. De resulterende kaarten staan in Figuur B1.1.
- Vervolgens is gekeken waar de gedraineerde gronden liggen. Hiervoor is de drainkaart van Massop gebruikt, die ook in het NHI zit. De draindiepte is vergeleken met de dikte van het mogelijk scheurende pakket. Als criterium is hiervoor een COLE van 0.03 gebruikt. De resultaten staan in Figuur B1.2.
- Tenslotte is een overlay gemaakt tussen de PLE-kaart en de kaart die aangeeft of het scheurende pakket continu is. Immers: alleen een continu scheurend pakket draagt in het huidige SWAP-concept bij aan snelle afvoer. Resultaten staan in Figuur B1.3.

Resultaten

De gronden die potentieel het meest zwellen en krimpen komen voor in het rivierkleigebied en in het noordelijk zeekleigebied. De Flevopolders vallen in het algemeen in de categorie "laag". Verrassend is het zuidwestelijk kleigebied: de gronden daar vallen in de categorie "zeer laag". Opvallend is dat de keileemgronden op het Drents plateau in dezelfde categorie vallen. Van het totale landbouwkundige areaal lijkt circa 72% niet of nauwelijks onderhevig aan zwel- en krimp ($PLE < 6$). 14.3% van het areaal heeft een $PLE > 9$. Met name deze gronden worden internationaal relevant gevonden.

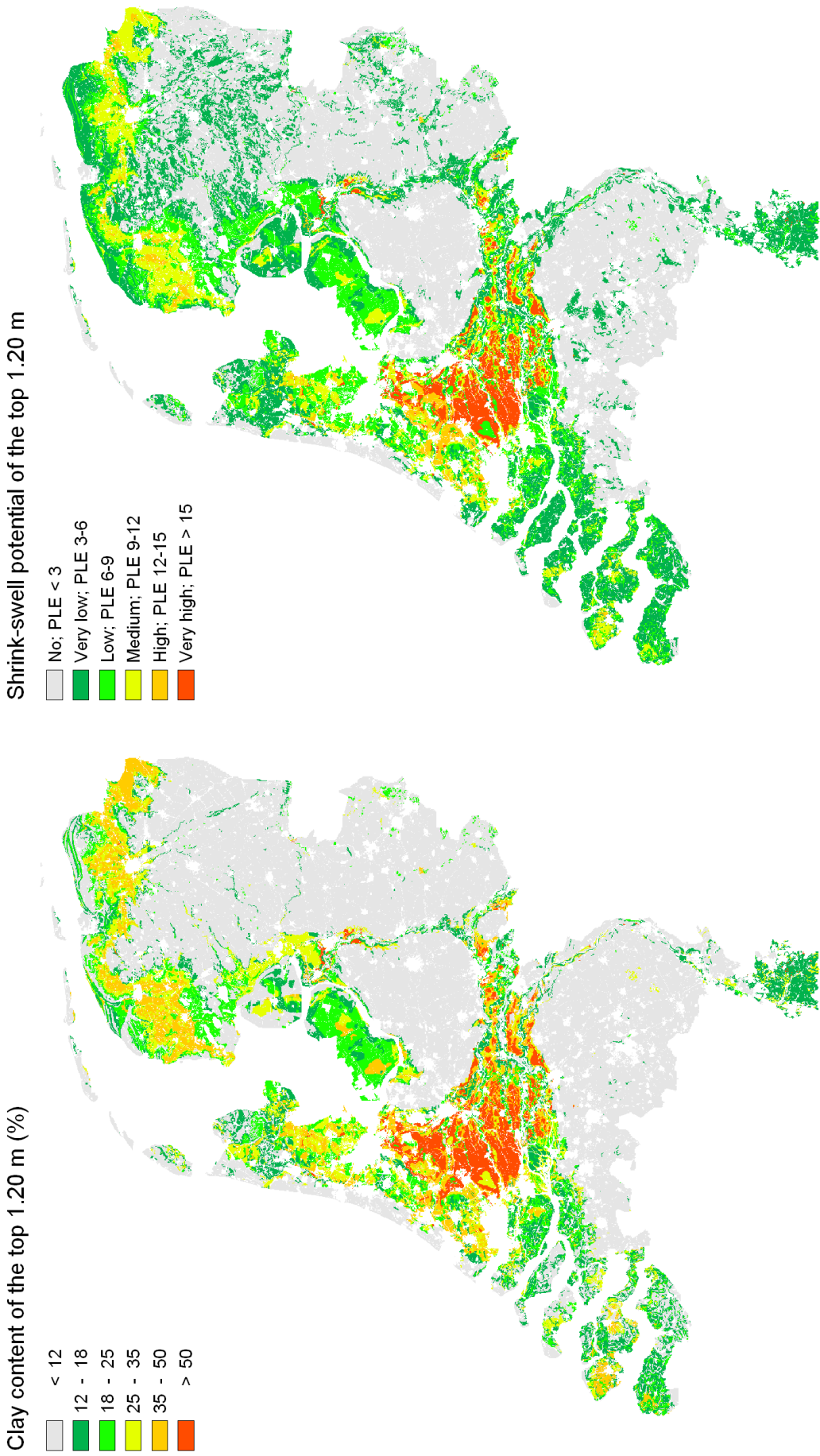
Ongeveer 40% van de Nederlandse gronden wordt gedraineerd (Figuur B1.2). In het zeekleigebied vooral diep (circa 110 cm), in de rivierklei- en zandgebieden ondiep (circa 80 cm). Op ongeveer 25% van het totale landbouwareaal is tot aan het niveau van de drainpijp een potentieel scheurend pakket aanwezig. Op 5% van het landbouwareaal is het potentieel scheurend pakket onvoldoende dik (klei-op-zand).

Op 10% van het landbouwareaal vindt mogelijk snelle afvoer via de drainpijp plaats (Figuur B1.3); wordt ook de categorie 'low potential' meegenomen, dan bedraagt het oppervlak 17%. Voor de toelating is het 90-percentiel van de concentratie in het drainwater van belang. Ervan uitgaande dat de concentratie in drainwater toeneemt met de PLE , mag verwacht worden dat het 90-percentiel ligt in gronden waar snelle afvoer via de drainpijp plaats vindt.

Conclusies

Er is nu een pragmatische methode waarmee het risico van oppervlaktewaterbelasting door snelle afvoer via de drainpijp kan worden gekarteerd. Uit deze methode blijkt dat op 10-17% van het totale Nederlandse landbouwareaal risico voor snelle afvoer via de drainpijp aanwezig is. Voor de toelating is echter niet het totale areaal, maar het gebruiksareaal van belang. Welk invloed het gebruiksareaal heeft op de percentielen heb ik nog niet berekend.

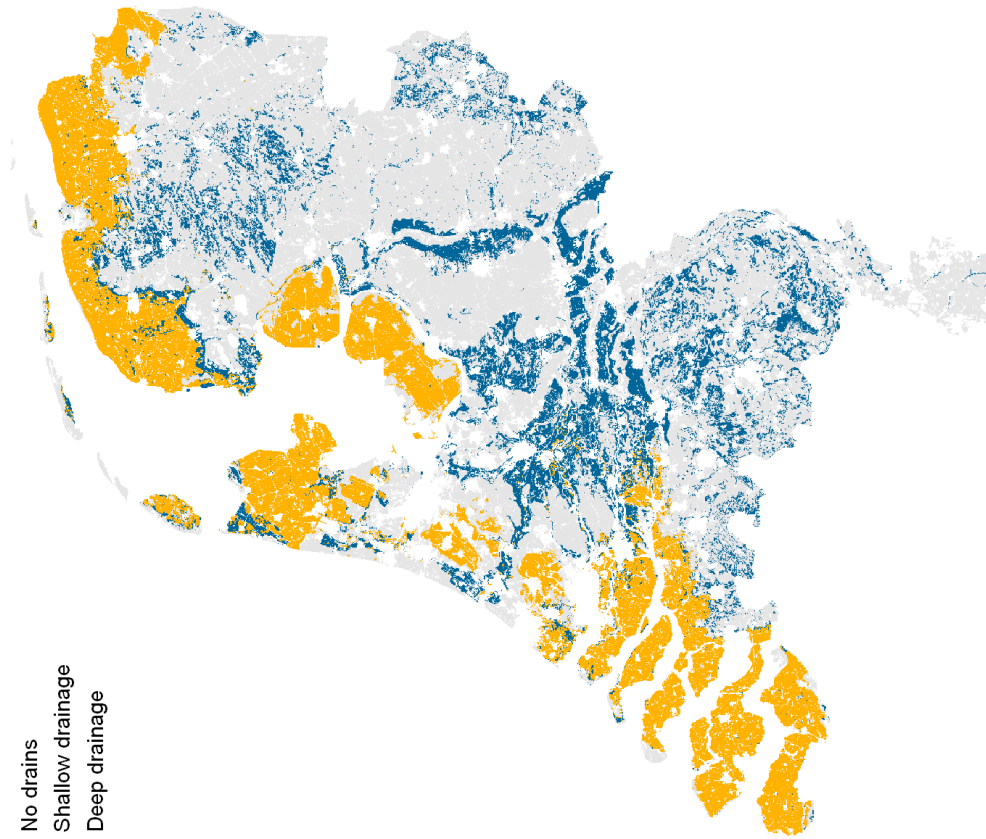
Nu we weten waar de risicogebieden liggen, kunnen we voorzichtig nadenken over parameterisatie van SWAP en PEARL. Dit moet in ieder geval beginnen met het toekennen van krimp- en zwelkarakteristieken aan de zes PLE -klassen.



Figuur B1.1 Gemiddelde lutumgehalte (%) van de Nederlandse bodem en het zwel/krimp potentieel van de gehele bodem. De laatste is berekend aan de hand van de PLE.

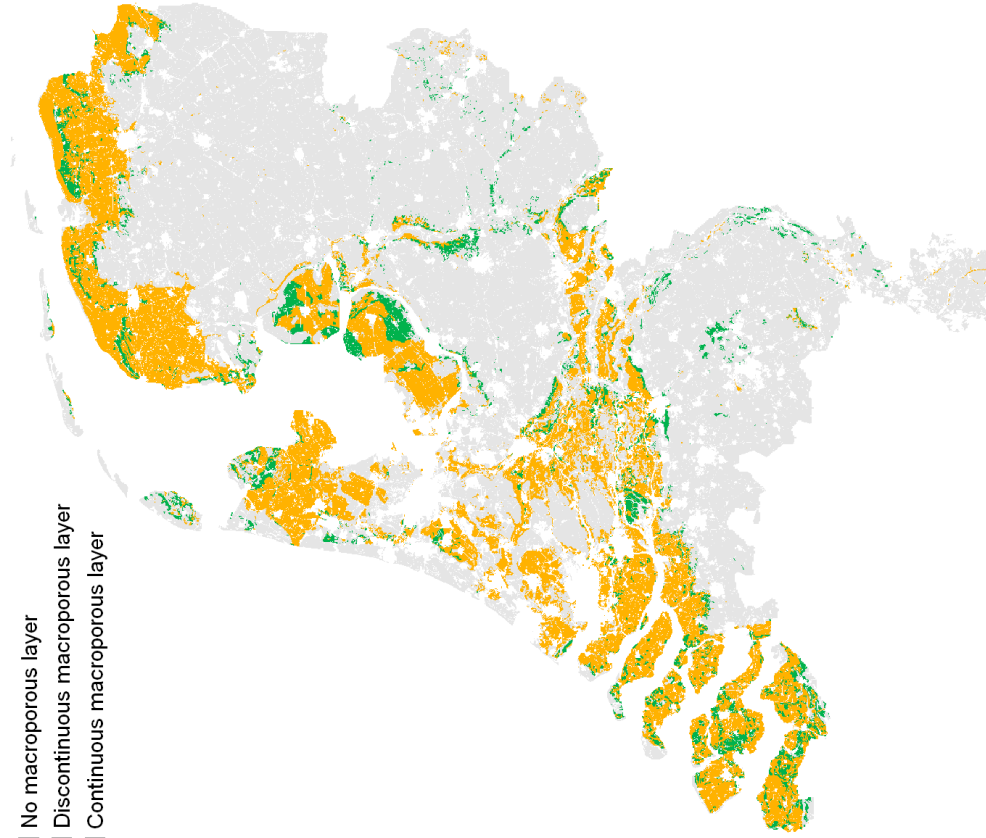
Presence of a pipe drainage system

- No drains
- Shallow drainage
- Deep drainage



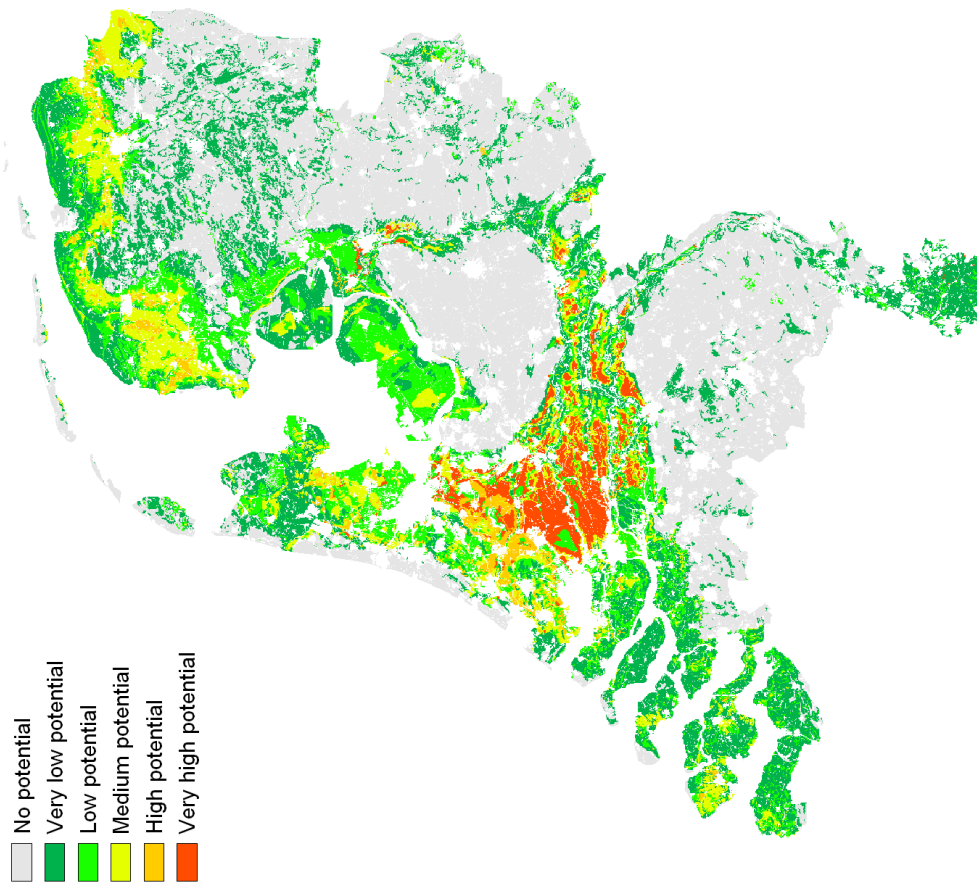
Presence of a macroporous layer

- No macroporous layer
- Discontinuous macroporous layer
- Continuous macroporous layer

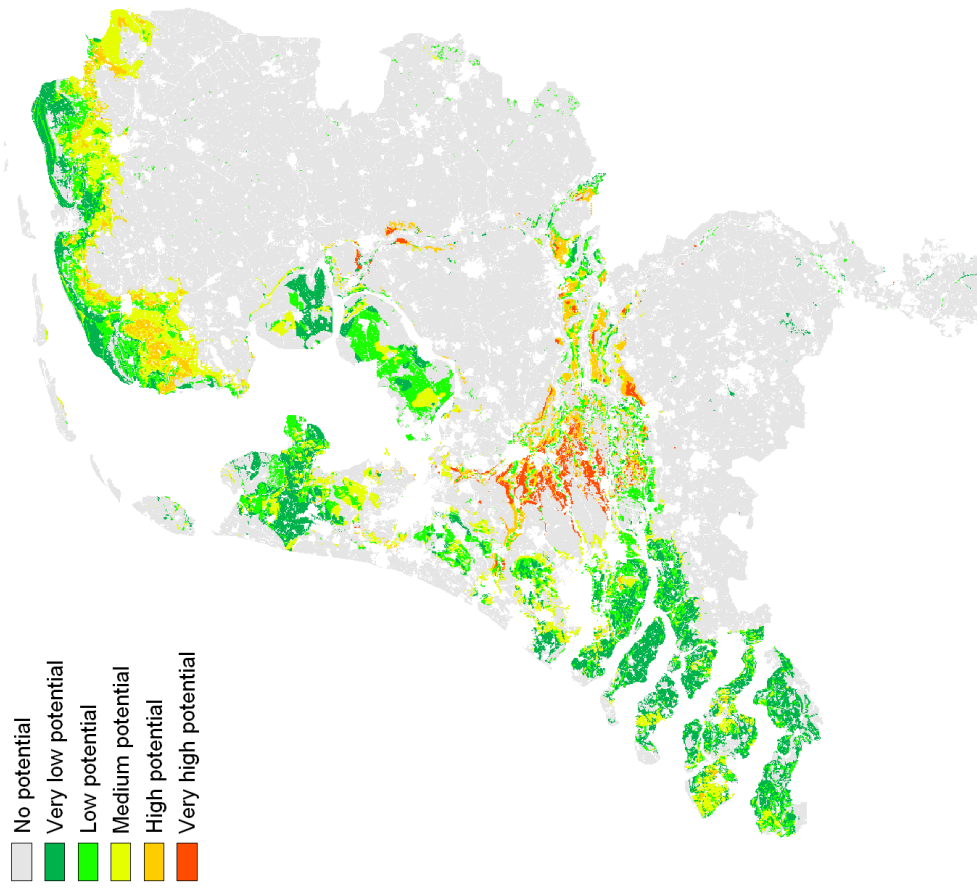


Figuur B1.2 Aanwezigheid van buisdrainage volgens Massop en aanwezigheid van een al of niet continu macroporeus pakket. De grens tussen wel- of niet potentieel macroporeus is gelegd bij een COLE index van 0.03.

Shrink-swell potential of the top 1.20 m

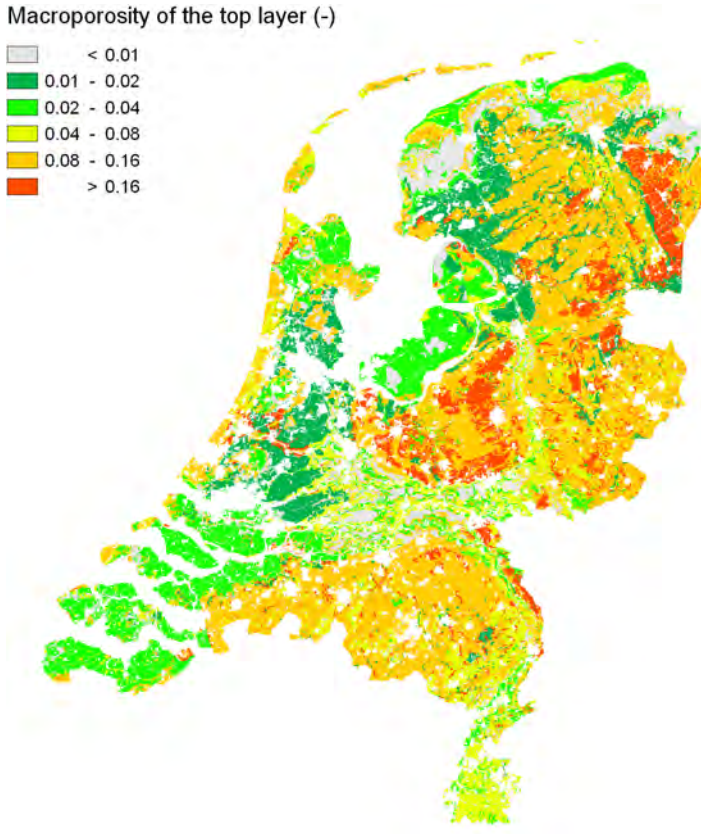


Potential for macroporous flow



Figuur B1.3 Zwel- en krimp potentieel van de Nederlandse bodem (links) en potentieel voor het wel- of niet optreden van macroporeuze stroming. Klasse-indeling: zie Figuur B1.1.

Macroporosity of the top layer (-)



Figuur B1.4 Macroporositeit van de toplaag.

Bijlage 2 Infiltratiecapaciteit en k_{sat}

Rob Hendriks/Alterra/08-05-2014

De infiltratiecapaciteit komt niet overeen en is veelal lager dan de verzadigde doorlatendheid.

Benaderingen voor de infiltratiecapaciteit zijn, o.a.:

- Appels (2013) schrijft dat op basis van experimenteel en theoretisch onderzoek is voorgesteld dat:
 $k_v \approx 0,5 * k_s$ Hierin is k_s de verzadigde doorlatendheid en k_v de infiltratiecapaciteit(L/T),
- Jarvis heeft voorgesteld de air entry pressure head van -10 cm te gebruiken, dit wordt veel toegepast bij modellen voor preferent transport.

De bouwstenen uit Tabel 4.2 de k_{sat} (h=0, oorspr.) zijn vergeleken met $k_{entry\ pressure}$ (h=-10 cm, nieuw). In Tabel B2.1 staan de k-waarden en de ratio (oorspr/nieuw) weergegeven.

Tabel B2.1

Aanpassing van de k_{sat} van de bouwstenen uit de Staringreeks die aan maaiveld voorkomen.

Nr	Staringreeks omschrijving		STONEPLOT	Ksat (cm/dag)		Ratio
				oorspr.	nieuw	oorspr/aangep.
B01	bovengrond	zand, leemarm fijn	3055	17,46	12,50	0,72
B02	bovengrond	zand, zwak lemig fijn	2426,5420,6273	9,65	7,37	0,76
B03	bovengrond	zand, lemig fijn	1632,3740	17,80	12,06	0,68
B08	bovengrond	zavel, matig licht	2093	2,25	1,21	0,54
B10	bovengrond	klei, licht	4355	1,17	0,47	0,40
B11	bovengrond	klei, matig zwaar		5,26	0,61	0,12
B12	bovengrond	lei, zwaar	2693,377	15,46	0,73	0,05
B16	bovengrond	veen + zandig veen	421	13,44	7,53	0,56
B18	bovengrond	veen. Kleiig	2010,4325	6,67	1,38	0,21
O01	ondergrond	zand, leemarm fijn		13,21	12,87	0,97
O15	ondergrond	leem, siltig		3,70	2,20	0,59

Uit Tabel B2.1 blijkt dat de ratio van 0,5 volgens Appels (2013) redelijk overeenkomt met het voorstel van Jarvis.

Alterra Wageningen UR
Postbus 47
6700 AA Wageningen
T 0317 48 07 00
www.wageningenUR.nl/alterra

Alterra-rapport 2546
ISSN 1566-7197



Alterra Wageningen UR is hét kennisinstituut voor de groene leefomgeving en bundelt een grote hoeveelheid expertise op het gebied van de groene ruimte en het duurzaam maatschappelijk gebruik ervan: kennis van water, natuur, bos, milieu, bodem, landschap, klimaat, landgebruik, recreatie etc.

De missie van Wageningen UR (University & Research centre) is 'To explore the potential of nature to improve the quality of life'. Binnen Wageningen UR bundelen 9 gespecialiseerde onderzoeksinstituten van stichting DLO en Wageningen University hun krachten om bij te dragen aan de oplossing van belangrijke vragen in het domein van gezonde voeding en leefomgeving. Met ongeveer 30 vestigingen, 6.000 medewerkers en 9.000 studenten behoort Wageningen UR wereldwijd tot de aansprekende kennisinstellingen binnen haar domein. De integrale benadering van de vraagstukken en de samenwerking tussen verschillende disciplines vormen het hart van de unieke Wageningen aanpak.

To explore
the potential
of nature to
improve the
quality of life



Alterra Wageningen UR
Postbus 47
6700 AA Wageningen
T 317 48 07 00
www.wageningenUR.nl/alterra

Alterra-rapport 2546
ISSN 1566-7197

Alterra Wageningen UR is hét kennisinstituut voor de groene leefomgeving en bundelt een grote hoeveelheid expertise op het gebied van de groene ruimte en het duurzaam maatschappelijk gebruik ervan: kennis van water, natuur, bos, milieu, bodem, landschap, klimaat, landgebruik, recreatie etc.

De missie van Wageningen UR (University & Research centre) is 'To explore the potential of nature to improve the quality of life'. Binnen Wageningen UR bundelen 9 gespecialiseerde onderzoeksinstituten van stichting DLO en Wageningen University hun krachten om bij te dragen aan de oplossing van belangrijke vragen in het domein van gezonde voeding en leefomgeving. Met ongeveer 30 vestigingen, 6.000 medewerkers en 9.000 studenten behoort Wageningen UR wereldwijd tot de aansprekende kennisinstellingen binnen haar domein. De integrale benadering van de vraagstukken en de samenwerking tussen verschillende disciplines vormen het hart van de unieke Wageningen aanpak.

